

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DO
CAMPUS SOROCABA

TAILISE MASCARENHAS MARTINS

**INTEGRAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 COM O LEAN
MANUFACTURING**

Sorocaba

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DO
CAMPUS SOROCABA

TAILISE MASCARENHAS MARTINS

**INTEGRAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 COM O LEAN
MANUFACTURING**

Defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Coser Mergulhão

Coorientação: Profa. Dra. Aline Patrícia Mano Araújo

Financiamento: CAPES

Sorocaba

2023

Mascarenhas Martins, Tailise

Integração das tecnologias da Indústria 4.0 com o Lean Manufacturing / Tailise Mascarenhas Martins -- 2023.
100f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Ricardo Coser Mergulhão
Banca Examinadora: Fabiano Leal, Luiz Carlos de Faria
Bibliografia

1. Indústria 4.0. 2. Lean Manufacturing. I. Mascarenhas Martins, Tailise. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8
6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Tailise Mascarenhas Martins, realizada em 07/12/2023.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Ricardo Coser Mergulhão (UFSCar)

Prof. Dr. Fabiano Leal (UNIFEI)

Prof. Dr. Luiz Carlos de Faria (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

DEDICO

À memória da minha mãe, ao meu orientador, à minha amiga Lilian Banhos que sempre me motivou e me entusiasmou a dedicar-me ao mestrado, ao meu pai e a todos que me acompanharam nesta jornada, apoiando-me de alguma forma e incentivando-me.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à CAPES por colaborar com meu estudo.

Ao meu orientador, que compartilhou seu conhecimento comigo, proporcionando sempre novas oportunidades e desafios.

A todos que contribuíram de alguma forma para o meu desenvolvimento no mestrado, trocando ensinamentos por meio da vivência e experiência compartilhada.

E aos colegas do curso de mestrado.

RESUMO

MARTINS, T. M. **Integração das tecnologias da Indústria 4.0 com o Lean Manufacturing**. 2023. Defesa (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, 2023.

A pesquisa visa analisar o impacto da interação entre as tecnologias da Indústria 4.0 e o conceito Lean Manufacturing no desempenho operacional da organização, na perspectiva dos gestores de manufatura, considerando informações relevantes de uma revisão sistemática da literatura. O objetivo ao integrar LM e I4.0 é entender como o LM impacta o desempenho operacional por meio da busca sistemática e contínua pela redução de desperdícios e pela busca por melhorias ao se interagir com as tecnologias da I4.0, que introduzem automação e interconectividade e que podem mitigar dificuldades de gerenciamento pré-existentes. O estudo fundamenta-se em uma revisão sistemática da literatura realizada nas bases SCOPUS e Web of Science, abrangendo 54 artigos, e em estudo de casos múltiplos posteriormente. A revisão identificou 15 ferramentas de Lean Manufacturing, 18 tecnologias da I4.0 e 12 melhorias/benefícios mais citadas até o momento, que serviram como base para o questionário de casos e análises do estudo de casos múltiplos. O estudo de caso múltiplos foi conduzido em três empresas de manufatura, utilizando questionários, coleta de dados nos sites das empresas e entrevistas para realizar a triangulação dos dados. O objetivo foi identificar a interação das tecnologias da I4.0 com as ferramentas do Lean Manufacturing e compreender a trajetória de maturidade da I4.0 em cada empresa. Os resultados indicam que o Lean Manufacturing é a base para a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0. Essa integração proporciona benefícios como aumento da confiança nos dados, produtividade e desempenho operacional. O estudo oferece implicações gerenciais, destacando como as ferramentas do Lean podem eliminar desperdícios e colaborar efetivamente com a introdução das tecnologias da I4.0. As lições aprendidas com as empresas do estudo de caso proporcionam *insights* valiosos para melhorar o desempenho global das empresas que integram essas ferramentas e tecnologias.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Lean Manufacturing, Tecnologias, Ferramentas da Qualidade.

ABSTRACT

The research aims to analyze the impact of the interaction between Industry 4.0 technologies and the Lean Manufacturing concept on organizational operational performance, from the perspective of manufacturing managers, considering relevant information from a systematic literature review. The objective of integrating LM and I4.0 is to understand how LM impacts operational performance through systematic and continuous pursuit of waste reduction and improvement by interacting with I4.0 technologies, which introduce automation and interconnectivity and can mitigate pre-existing management difficulties. The study is based on a systematic literature review conducted in the SCOPUS and Web of Science databases, covering 54 articles, and on subsequent multiple case studies. The review identified 15 Lean Manufacturing tools, 18 I4.0 technologies, and 12 most cited improvements/benefits to date, which served as the basis for the case questionnaire and analyses of the multiple case studies. Multiple case studies were conducted in three manufacturing companies, using questionnaires, data collection from company websites, and interviews to triangulate data. The aim was to identify the interaction of I4.0 technologies with Lean Manufacturing tools and understand the maturity trajectory of I4.0 in each company. The results indicate that Lean Manufacturing is the foundation for successful implementation of Industry 4.0. This integration provides benefits such as increased confidence in data, productivity, and operational performance. The study offers managerial implications, highlighting how Lean tools can eliminate waste and effectively collaborate with the introduction of I4.0 technologies. Lessons learned from the case study companies provide valuable insights for improving the overall performance of companies integrating these tools and technologies.

Keywords: Fourth Industrial Revolution, Lean Manufacturing, Technologies, Quality Tools.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas da pesquisa adaptada de Tranfield et al. (2003).....	15
Figura 2- Saída do VOSviewer	17
Figura 3-Análise de variância de co-palavras no VOSviewer	18
Figura 4-Fluxograma PRISMA de triagem e seleção de artigos.....	20
Figura 5-Gráfico pizza das editoras dos artigos analisados	21
Figura 6 - Autores dos artigos analisados	22
Figura 7-Distribuição das publicações por ano	23
Figura 8 -Países de origem dos autores no mapa	24
Figura 9-Países de origem dos autores em frequência	24
Figura 10 - Frequência outros países.....	25
Figura 11-Métodos encontrados nos artigos selecionados	26
Figura 12-Protocolo de Pesquisa.....	43
Figura 13 - Comparação setores encontrados na RSL e áreas das amostras estudadas	46
Figura 14 – Seis níveis de maturidade da Indústria 4.0.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Parâmetros de busca.....	18
Tabela 2-Comparação da porcentagem das tecnologias encontradas nos artigos e implementadas nas empresas	49
Tabela 3-Ferramentas Lean implementadas nas empresas estudadas	69
Tabela 4-Frequência das ferramentas Lean interagindo com as tecnologias da I4.0 conforme opinião dos entrevistadores	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tecnologias Implementadas	48
Gráfico 2-Percepção das tecnologias sob o desempenho operacional	50
Gráfico 3- Ferramentas já implementadas na organização	52
Gráfico 4 - Benefícios da interação das ferramentas Lean com as tecnologias da I4.0	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Setores dos artigos estudados.....	27
Quadro 2-Relação das tecnologias abordadas em cada artigo estudado	29
Quadro 3-Relação das ferramentas abordadas em cada artigo estudado	33
Quadro 4-Benefícios derivados da união das tecnologias da I4.0 com ferramentas do Lean..	37
Quadro 5-Combinações de tecnologias e ferramentas Lean possíveis	54
Quadro 6-Tecnologias implementadas e em planejamento nas empresas estudadas.....	67
Quadro 7-Dados encontrados no site das empresas estudadas.....	72
Quadro 8-Dados compilado da entrevista com as empresas	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

I4.0 – Indústria 4.0

LM – Lean Manufacturing

LA – Lean Automation

IOT – Internet das Coisas

RSL – Revisão Sistemática da Literatura

WoS – Web of Science

JIT – Just in Time

TPM – Manutenção Produtiva Total

SOP – Standard Operating Procedure

TQM – Gestão de Qualidade Total

SMED – Single Minute Exchange of Die (troca rápida de ferramenta)

OEE – Eficiência Global dos Equipamentos

CPS – Sistema ciberfísico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	15
2.1 METODOLOGIA DA RSL	15
2.1.1 Planejamento	16
2.1.2 Execução	19
2.1.3 Resultados	21
2.1.4 Análise da ligação entre Indústria 4.0 e Lean Manufacturing.....	28
2.1.5 Considerações finais.....	39
3. ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS	41
3.1. METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS	42
3.1.1 Coleta de dados	45
3.1.2 Descobertas e Análise de dados.....	47
3.1.2.1 Questionário do Google Forms.....	47
3.1.2.2 Dados disponíveis nos sites	60
3.1.2.3 Análise das entrevistas	62
3.1.2.4 Análise dos casos cruzados.....	66
3.1.2.5 Considerações Finais	76
4. CONCLUSÃO	78
4.1. Limitações e Considerações Futuras	80
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE 1: Questionário de pesquisa sobre ferramentas do Lean Manufacturing em associação a tecnologias da Indústria 4.0	83
APÊNDICE 2: Entrevista.....	97

1 INTRODUÇÃO

O Lean Manufacturing (LM) surgiu no Japão em 1937 e foi desenvolvido por Taiichi Ohno. Desde então, vem sendo amplamente utilizado nas últimas três décadas pela indústria. Trata-se de uma metodologia que contém ferramentas gerenciais e visa melhorar a produtividade da empresa por meio de esforços para identificar e eliminar os processos que não agregam valor ou que geram desperdícios e gastos em uma organização. Por exemplo, as falhas na produção são as principais fontes de aumento de custos devido à perda de produtividade. (SONY, 2018).

Segundo Omoush (2020) a metodologia Lean pode ser considerada como uma das mais significativas contribuições na história da gestão de manufatura. Contudo, desde o início, o seu desenvolvimento é feito quase independente da tecnologia da informação. Kolberg et al. (2015) também afirmam que, como o LM foi inventado no século passado, a metodologia não leva em consideração as possibilidades das tecnologias de informação e comunicação atuais.

Porém, o advento da quarta revolução industrial, introduzida na Alemanha em 2011, inovou a indústria de manufatura por meio do uso das tecnologias, mudando a forma de integrar o mundo físico com o mundo cibernético na organização. Isso é feito por meio de inteligência artificial, computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT), sistema ciberfísico, big data, realidade virtual, robótica, impressão 3D, simulação, radiofrequência, sensores, sistema de rastreamento, gêmeos digitais, manufatura aditiva, entre outras tecnologias. Segundo Dombrowsk et al. (2017), a Indústria 4.0 (I4.0) foi desenvolvida com o objetivo de lidar com os desafios do século XXI.

O objetivo ao integrar LM e I4.0 é entender como o LM impacta o desempenho operacional por meio da busca sistemática e contínua pela redução de desperdícios e pela busca por melhorias ao se interagir com as tecnologias da I4.0, que introduzem automação e interconectividade e que podem mitigar dificuldades de gerenciamento pré-existentes (TORTORELLA et al., 2020). Entretanto, alguns estudos, como o de Bittencourt et al. (2021), demonstram que, apesar da crescente popularidade da I4.0, a literatura sobre sua relação com o campo da Produção Enxuta ainda é escassa.

Pagliosa et al. (2019) sugerem a necessidade de categorização das tecnologias da I4.0 em diferentes níveis de fluxo de valor, pois, ao contrário da literatura sobre LM, o

corpo de conhecimento sobre I4.0 é significativamente mais recente, o que indica a necessidade de investigação para se ter uma compreensão mais clara dos potenciais benefícios da I4.0. Além disso, o autor também apresenta a oportunidade de examinar os efeitos da relação entre LM e I4.0 no desempenho operacional das organizações.

É crucial compreender quais princípios Lean específicos, aplicados internamente nas empresas, são mais adequados para a integração nas cadeias de suprimentos em sintonia com a Indústria 4.0. Além disso, uma análise aprofundada dos princípios Lean que podem entrar em conflito com as dinâmicas da Indústria 4.0 se torna-se essencial. Essa compreensão permitirá não apenas a harmonização eficaz dessas abordagens, mas também possibilitará a sugestão de novas aplicações para as tecnologias da Indústria 4.0 por meio de pesquisas, visando fortalecer os princípios Lean nos domínios de controle, otimização e autonomia, conforme destacado por Rosin et al. (2019) em seu estudo, que demonstram a necessidade de mais pesquisas sobre o tema.

Tortorella et al. (2019) apresentam como limitação em seu estudo a necessidade da coleta de medidas de produção mais objetivas ou o envolvimento de supervisores de linha de frente na classificação dos níveis de implementação de LM e I4.0, apontando a necessidade de mais estudos longitudinais futuros. Uma vez que a falta de pesquisa empírica neste campo emergente oferece amplas oportunidades para uma investigação mais aprofundada em diferentes contextos socioeconômicos, considerando assim, a pertinência do tema. A questão de pesquisa é: **Q1: Como a interseção entre a Indústria 4.0 e o Lean Manufacturing é caracterizada, destacando as sinergias e explorando as perspectivas futuras na literatura?**

Além do contexto que gera a pergunta Q1 da pesquisa de dissertação, também existe a possibilidade de identificar novas sinergias e oportunidades para otimizar processos ao longo de toda a cadeia de valor do produto, com diferentes perspectivas de interação que poderiam ser utilizadas para preencher a lacuna identificada pelos impactos no desempenho operacional da I4.0 sobre LM e diferentes implicações que podem surgir de sua implantação simultânea, bem como a maneira pela qual as principais ferramentas do LM podem ser aprimoradas pelo uso das tecnologias da I4.0. Como ambos os paradigmas de produção continuam promissores para resolver os futuros desafios da manufatura, a questão é como eles podem se relacionar? (MAYR et al., 2018).

Em estudo recente, Tortorella et al. (2021) relatam que quando se trata de uma pesquisa transversal, como a que responde à Q1, a variação do nível de maturidade é mais

difícil de ser capturada. Já a pesquisa longitudinal apoiaria a identificação da evolução dos aspectos sociais e técnicos durante a implementação do Lean Automation (LA) (nome dado por alguns autores à interação do Lean com a I4.0). Além disso, demanda a ampliação da coleta de dados e diferentes procedimentos de análise. Os autores também propuseram que mais e diferentes tipos de estudos, tanto qualitativos quanto quantitativos, poderão acrescentar ao corpo de evidências necessário para apoiar as decisões de negócios para investir efetivamente no LA. Estudos de caso, por exemplo, poderiam expandir ainda mais o conhecimento de como o LA funciona, iluminando os mecanismos causais dos princípios, práticas e resultados de forma mais profunda e direta, podendo testar e oferecer também evidências da relação entre o LA e os resultados. Com o advento e o avanço em direção à maturidade das aplicações da I4.0 em combinação com o Lean, esses tipos adicionais de pesquisa fornecerão cada vez mais 'triangulação' sobre os impactos do LA e, portanto, iniciativas de LA mais eficientes e eficazes.

Sendo assim, conforme lacunas vistas nas literaturas e oportunidades de aprofundamento e novas concepções resultantes da interação das abordagens, tem-se então a segunda questão: **Q2: Qual o impacto da interação das tecnologias da Indústria 4.0 com o conceito Lean Manufacturing na percepção de gestores de indústrias de manufatura?**

A partir das questões de pesquisa apresentadas, temos como objetivo geral do estudo investigar longitudinalmente o impacto no desempenho operacional da interação das tecnologias da Indústria 4.0 com o conceito do Lean Manufacturing em indústrias. Os objetivos específicos concentram-se em responder às questões de pesquisa apresentadas no contexto da integração da I4.0 com o Lean, resumindo-se em:

- Desenvolver uma revisão sistemática da literatura sobre a relação da Indústria 4.0 com o Lean Manufacturing.
- Caracterizar as tecnologias da I4.0, as ferramentas do Lean e os benefícios/melhorias da integração de ambos.
- Realizar estudo de casos múltiplos longitudinal em indústrias de manufatura buscando identificar a maturidade de implementação da I4.0.
- Levantar as características de ferramentas LM e tecnologias I4.0 utilizadas pela empresa.
- Investigar o impacto no desempenho operacional da interação da I4.0 com o LM na fábrica e na produção de modo geral.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) desenvolve uma pesquisa abrangente na literatura por meio de expressões e critérios de busca específicos e reproduzíveis com o intuito de ressaltar o rigor necessário para a análise metodológica dos estudos existentes, identificando evidências ou mesmo ampliando a possibilidade de novos estudos (TRANFIELD et al., 2003). A estrutura adaptada da RSL é composta por 4 fases, conforme mostrado na Figura 1: (1) Formulação da questão de pesquisa; (2) Planejamento da RSL que define o protocolo da pesquisa; (3) Execução da RSL que utiliza o fluxograma PRISMA para conduzir a extração dos dados nas bases Scopus e Web of Science, análise de dados com o aplicativo web Rayyan e, (4) Resultados. A fase (1) foi apresentada na seção 1 dessa dissertação e as fases (2), (3) e (4) são detalhadas nas próximas seções.

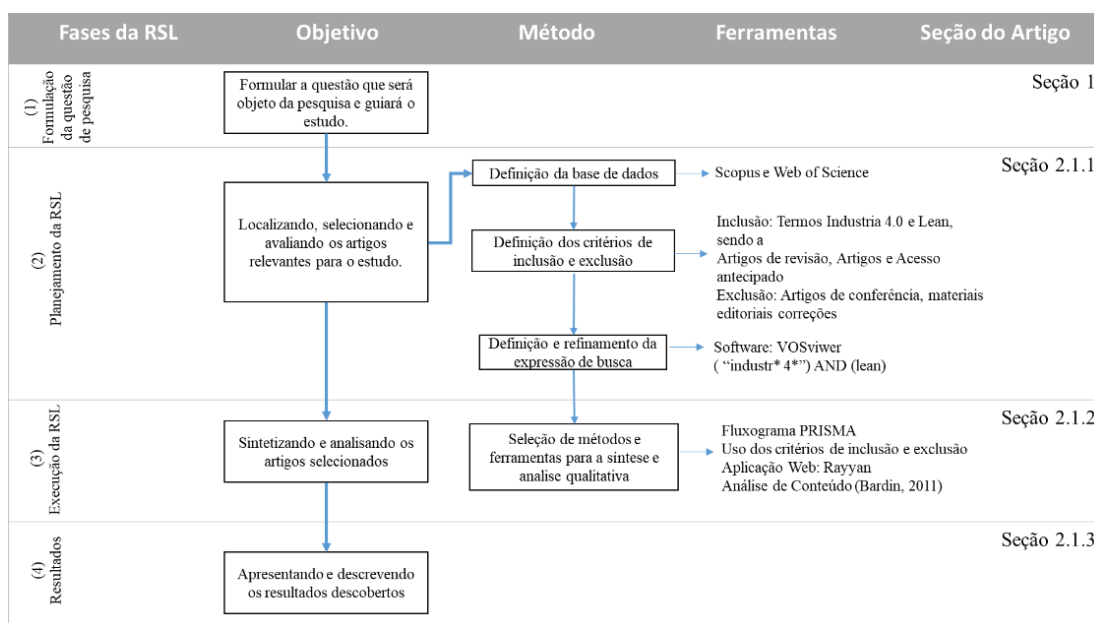


Figura 1- Etapas da pesquisa adaptada de Tranfield et al. (2003)

Fonte: Elaborado pela autora

2.1 METODOLOGIA DA RSL

Em relação aos fins esta pesquisa é de caráter exploratório, pois busca investigar os fatores condicionantes para atingir o objetivo do estudo, fornecendo informações mais precisas sobre os impactos no desempenho operacional que a Indústria 4.0 pode gerar no conceito de Lean Manufacturing no ambiente de manufatura, como, por exemplo,

benefícios ou malefícios, facilidades operacionais, agilidade, entre outros. Além disso, é do tipo descritiva, com o intuito de caracterizar os fatores condicionantes encontrados.

Em relação aos procedimentos metodológicos, realizou-se uma revisão sistemática da literatura baseada em (TRANFIELD et al., 2003) para a categorização das tecnologias da I4.0, das ferramentas do Lean e dos benefícios da interação de ambas, buscando um panorama das publicações sobre Indústria 4.0 e Lean.

2.1.1 Planejamento

A pergunta que direciona a RSL é Q1: **Como a interseção entre a Indústria 4.0 e o Lean Manufacturing é caracterizada, destacando as sinergias e explorando as perspectivas futuras na literatura?**

A partir desse questionamento, é desenvolvido o planejamento, que inclui os termos de busca de acordo com a base de dados a ser pesquisada, além do período da pesquisa e critérios de inclusão e exclusão.

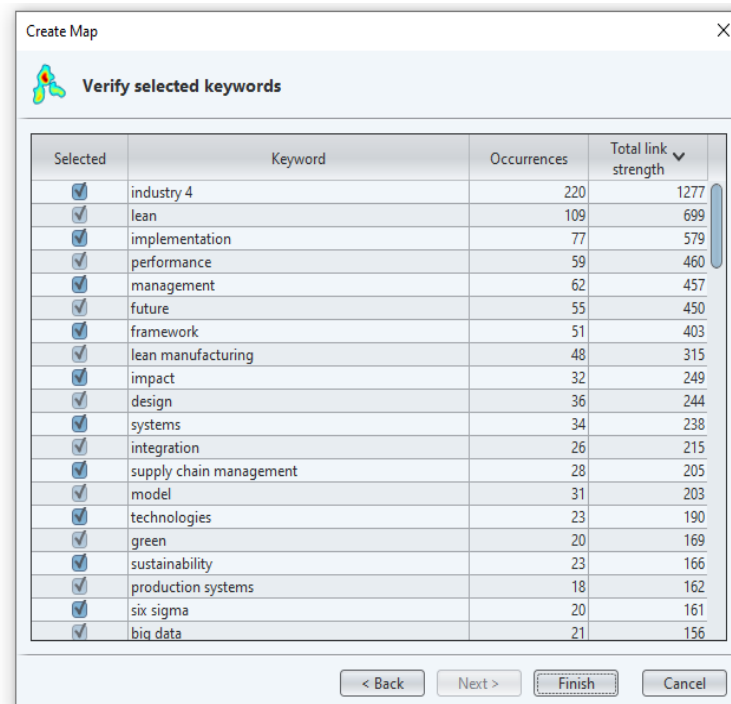
As expressões de busca são as seguintes palavras-chave “Industry 4.0” e “Lean”. As bases de dados escolhidas foram a Web of Science (WoS) e *Scopus*, selecionadas pela sua abrangência internacional. Para um detalhamento mais preciso da evolução da literatura sobre a associação dos conceitos estudados, a busca não se limitou a um período específico. Além disso, não foram impostas restrições quanto ao idioma dos artigos, uma vez que a tradução pode ser feita sem maiores dificuldades atualmente.

Como critério de inclusão, foram considerados artigos de revisão, artigos e de acesso antecipado, pois esses representam estudos abrangentes e maduros, caracterizados por uma análise profunda e fundamentação robusta. Essas contribuições científicas são, de fato, reflexões consolidadas que atingiram um estágio avançado de desenvolvimento, evidenciando uma fundamentação argumentativa sólida e uma compreensão substancial do tema em questão. Esses trabalhos, portanto, incorporam uma síntese significativa da literatura existente, sendo de grande valia e contribuição para nossa pesquisa, destacando-se como contribuições substanciais para o corpo de conhecimento em suas respectivas áreas.

Para os critérios de exclusão, foram excluídos os artigos de conferência, materiais editoriais e correções, uma vez que esses estudos ainda não estão completos. Eles fazem parte de um processo contínuo de pesquisa em desenvolvimento, encontrando-se em estágios iniciais de elaboração. Dessa maneira, não constituem investigações

aprofundadas e estão sujeitos a expansão, refinamento ou complementação por meio de pesquisas mais extensas e abrangentes, o que não é de interesse para este estudo.

Em seguida, com o intuito de padronizar as palavras-chave para corrigir eventuais discrepâncias, utilizou-se o software VOSviewer (Figuras 2 e 3). Com o arquivo de dados exportado das bases, foram analisadas as palavras-chave com maior ocorrência, buscando por novos termos que pudessem agregar ao parâmetro de busca nas bases de dados.



The screenshot shows a window titled "Create Map" with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar is a header area with a small icon and the text "Verify selected keywords". The main content is a table with four columns: "Selected", "Keyword", "Occurrences", and "Total link strength". The "Selected" column contains checkboxes, all of which are checked. The "Total link strength" column has a small downward arrow icon. At the bottom of the window are four buttons: "< Back", "Next >", "Finish", and "Cancel".

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	industry 4	220	1277
<input checked="" type="checkbox"/>	lean	109	699
<input checked="" type="checkbox"/>	implementation	77	579
<input checked="" type="checkbox"/>	performance	59	460
<input checked="" type="checkbox"/>	management	62	457
<input checked="" type="checkbox"/>	future	55	450
<input checked="" type="checkbox"/>	framework	51	403
<input checked="" type="checkbox"/>	lean manufacturing	48	315
<input checked="" type="checkbox"/>	impact	32	249
<input checked="" type="checkbox"/>	design	36	244
<input checked="" type="checkbox"/>	systems	34	238
<input checked="" type="checkbox"/>	integration	26	215
<input checked="" type="checkbox"/>	supply chain management	28	205
<input checked="" type="checkbox"/>	model	31	203
<input checked="" type="checkbox"/>	technologies	23	190
<input checked="" type="checkbox"/>	green	20	169
<input checked="" type="checkbox"/>	sustainability	23	166
<input checked="" type="checkbox"/>	production systems	18	162
<input checked="" type="checkbox"/>	six sigma	20	161
<input checked="" type="checkbox"/>	big data	21	156

Figura 2- Saída do VOSviewer

Fonte: Elaborado pela autora

2.1.2 Execução

A fase (3), Execução da RLS, baseou-se na aplicação da metodologia PRISMA (PAHLEVAN-SHARIF et al., 2019), utilizando o aplicativo web Rayyan para seleção dos artigos relevantes à análise de conteúdo. A metodologia PRISMA fornece um fluxograma composto por quatro etapas: (i) Identificação, (ii) Triagem e (iii) Inclusão, ilustradas na Figura 4.

Na primeira etapa de Identificação, aplicou-se a expressão de busca nas bases de dados definidas no protocolo de pesquisa, resultando em um total de 1140 publicações, sendo 690 da Scopus e 450 da WoS. Dessas bases, foram selecionados apenas artigos de revisão e de acesso antecipado, enquanto foram excluídos artigos de conferência, materiais editoriais e correções. Isso totalizou 310 da Scopus e 280 da WoS. Como visto anteriormente nas Figuras 2 e 3, não ocorreu mudança após a análise com suporte do VOSviewer.

Na segunda etapa, empregou-se o aplicativo web Rayyan, conforme explorado por Ouzzani et al. (2016). A utilização do aplicativo web Rayyan foi fundamental na seleção de artigos realizada de forma cega por três colaboradores. No primeiro estágio, excluíram-se 266 artigos duplicados. Em seguida, a primeira filtragem dos artigos ocorreu por meio de análises individuais cegas.

No segundo filtro, os conflitos de escolhas foram resolvidos em uma reunião envolvendo os três colaboradores. Nessa fase, apenas os artigos que apresentaram discrepâncias nas escolhas individuais foram considerados. Em outras palavras, foram analisados os casos em que apenas um colaborador havia aprovado ou recusado o artigo. Para alcançar um consenso, os motivos por trás da aprovação ou exclusão foram discutidos entre os três colaboradores, visando à uniformidade nas escolhas finais.

Para isso, algumas palavras-chave de inclusão foram usadas, tais como: Indústria, Indústria 4.0, Lean, Smart e Lean Automation. Já para a exclusão, foram utilizadas palavras-chave como Six Sigma, Lean Six Sigma, Lean Green, Sustentabilidade e Green Lean, uma vez que abrangiam temas mais complexos do que o desejado. Esse processo resultou em um total de 140 artigos.

E por fim, foi realizado o terceiro filtro, com a leitura completa desses artigos, dos quais 53 foram excluídos: 10 por falta de acesso e 43 por não responderem à questão-problema: **Como pode ser caracterizada a interseção entre a revolução da Indústria**

4.0 e a filosofia eficiente do Lean Manufacturing, ao explorar as sinergias do futuro fabril por meio de uma análise da literatura inovadora? Isso resultou em 54 artigos incluídos na RSL, conforme demonstrado no fluxograma PRISMA de triagem e seleção de artigos adaptado de Pahlevan-Sharif et al. (2019) da Figura 4.

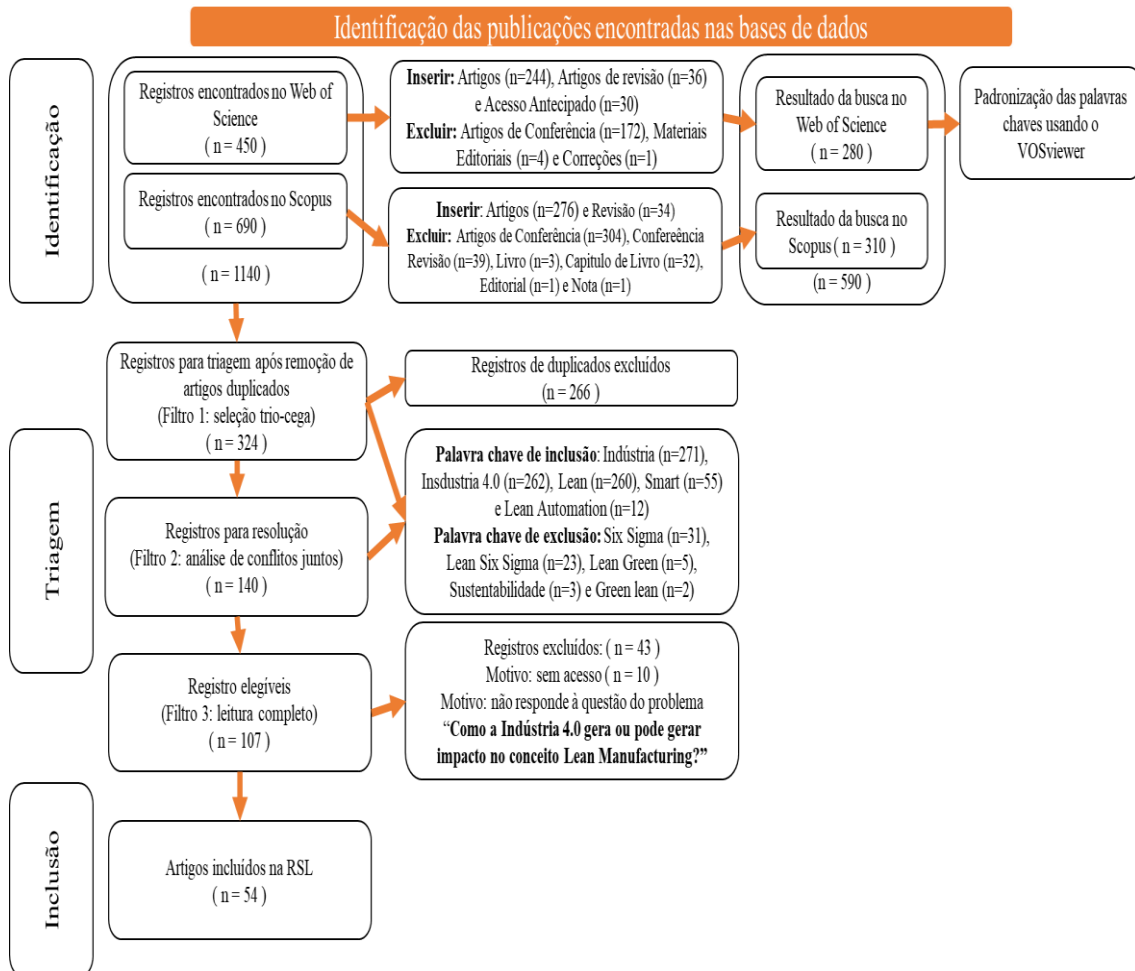


Figura 4-Fluxograma PRISMA de triagem e seleção de artigos

Fonte: Elaborado pela autora

Os 54 artigos resultantes da análise foram submetidos a uma leitura analítica profunda, com foco na identificação dos possíveis impactos gerados pela interação de ambos os conceitos. Durante a revisão dos artigos da amostra, com o objetivo de caracterizar a literatura em relação à resposta à questão de pesquisa, foi possível perceber uma análise frequente de como as tecnologias decorrentes da quarta revolução podem impactar e colaborar com as ferramentas do conceito Lean Manufacturing (LM).

Fica evidente a importância contínua do uso da Metodologia Lean, por meio de suas ferramentas, no ambiente de manufatura, aliado à implementação das tecnologias da Indústria 4.0 como base para a melhoria dos processos. Além disso, durante a leitura preliminar, foram identificadas algumas categorias relacionadas aos anos de publicação dos artigos, aos periódicos e aos países nos quais foram publicados, as quais serão apresentadas no item a seguir.

2.1.3 Resultados

Os dados e informações dos *insights* e análises deste estudo decorreram dos 54 artigos que foram incluídos para revisão sistemática da literatura. A primeira análise refere-se às editoras dos artigos selecionados, em que temos 21% da editora Emerald e Taylor & Francis Group, 18% da MDPI, 11% da Elsevier, 5% da Springer, 4% da Enterprises e 20% de outras editoras que se encontram na figura 5, sendo esses, SCI Journal, IJCSNS Indian Academy of Sciences, FME Transactions, Penerbit UMP, POLISH JOURNAL OF MANAGEMENT STUDIES, IJMEMS, ZWF, IIOAB e MPER, todos com 1,8% em relação ao total dos 54 artigos estudados nesta pesquisa.



Figura 5-Gráfico pizza das editoras dos artigos analisados

Fonte: Elaborado pela autora

Além das editoras, vale destacar que alguns autores têm autoria em mais de um dos 54 artigos estudados, como evidenciado no relatório retirado do Rayyan. Esse

relatório demonstra a significativa presença do autor brasileiro Tortorella, G. L., entre outros nomes que se repetem em pesquisas sobre o tema.



Authors	
Tortorella, GL	14
Tortorella, Guilherme Luz	11
Chattopadhyaya, S.	6
Thurer, Matthias	6
Tripathi, V.	6
Sharma, S.	6
Thurer, M	6
Saurin, TA	6
Mukhopadhyay, A.K.	5
Villalba-Diez, Javier	5

[More >>](#)

Figura 6 - Autores dos artigos analisados

Fonte: Revisão criada pelos autores no aplicativo Rayyan

Outro fator a ser analisado é a evolução das publicações, como evidenciado na Figura 8, onde observamos um crescimento nas publicações sobre o assunto. Importante ressaltar que os dados de 2022 abrangem o período de janeiro a maio, coincidindo com a realização da pesquisa. Assim, é provável que o número de publicações após essa data, a partir do mês 06 de 2022, tenha aumentado. Mesmo com apenas metade do ano de 2022 analisado, observamos que o número de artigos publicados é semelhante ao de 2019. Além disso, já foram publicados 47% dos artigos de 2020 e 2021. Em outras palavras, a tendência é que haja um aumento significativo nos estudos relacionados ao tema.

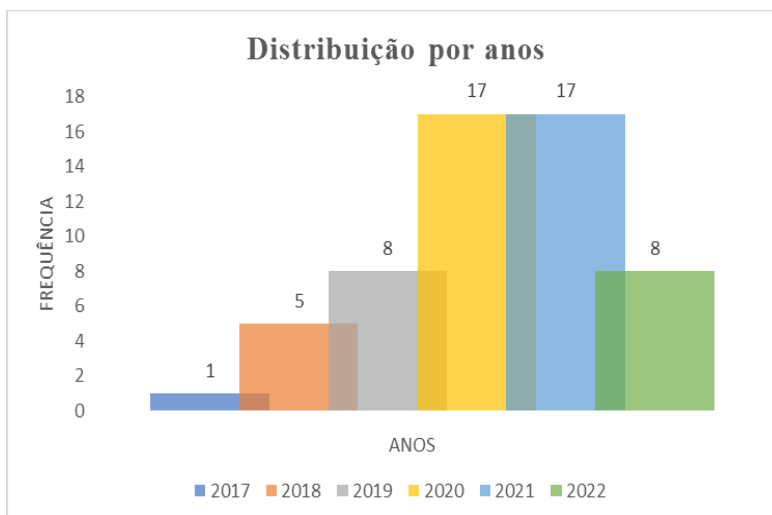


Figura 7-Distribuição das publicações por ano

Fonte: Elaborado pela autora

A análise da distribuição dos países que estudaram o tema foi realizada por meio da observação da relação da origem dos autores que escreveram e estudaram os artigos publicados sobre o tema, como evidenciado nas Figuras 9, 10 e 11. O Brasil concentra 22% do total de publicações, seguido pelo Reino Unido com 17%. A Índia e a China aparecem em seguida, ambas com 7 publicações (13%). Outros países também contribuíram significativamente, com a Austrália representando 11%, Alemanha e Itália com 9%, e Portugal com 7%. Há também outros países com 2 ou uma publicação cada. Vale notar que nos últimos dois anos, muitos congressos ocorreram de forma remota devido à Covid-19, razão pela qual a classificação dos países foi baseada na origem dos autores. Essa análise revela um grande interesse no Brasil em aprimorar a implementação da Indústria 4.0, buscando aumentar as pesquisas. Além disso, o interesse mundial é claramente visível, com 40 países diferentes estudando o tema.

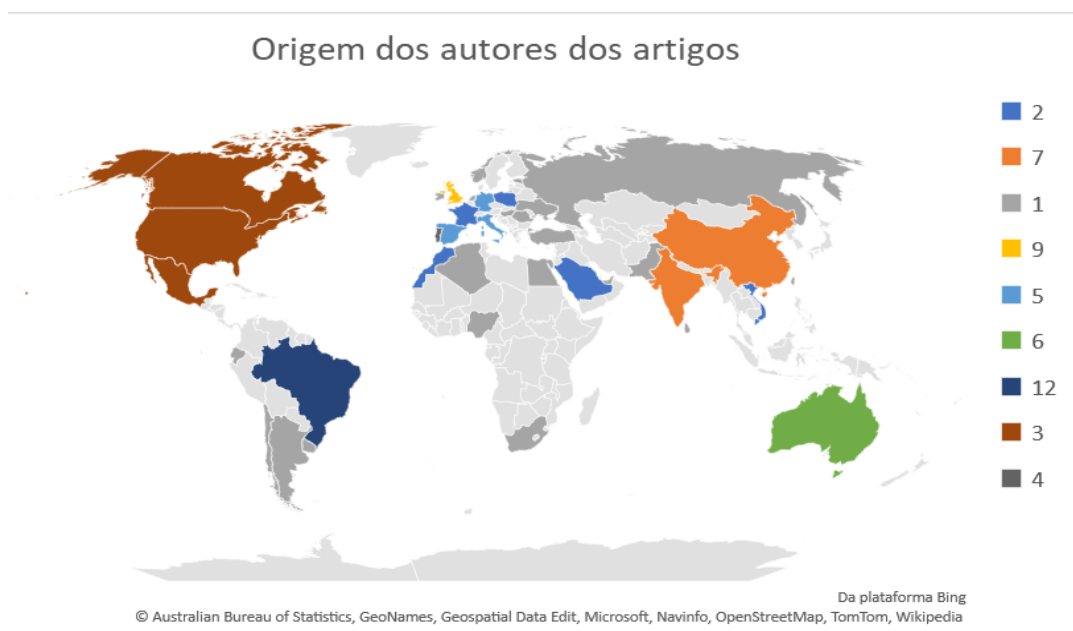


Figura 8 -Países de origem dos autores no mapa

Fonte: Elaborado pela autora

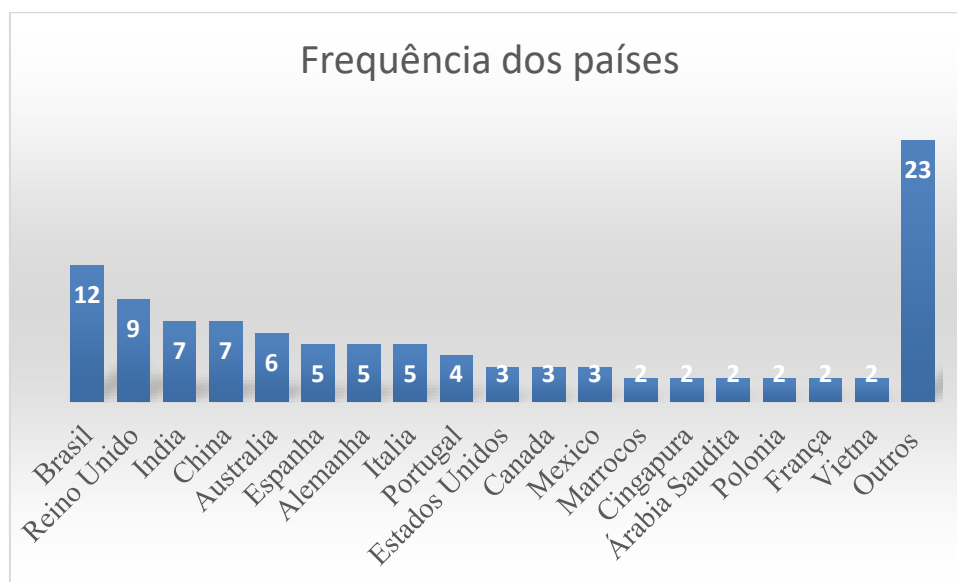


Figura 9-Países de origem dos autores em frequência

Fonte: Elaborado pela autora

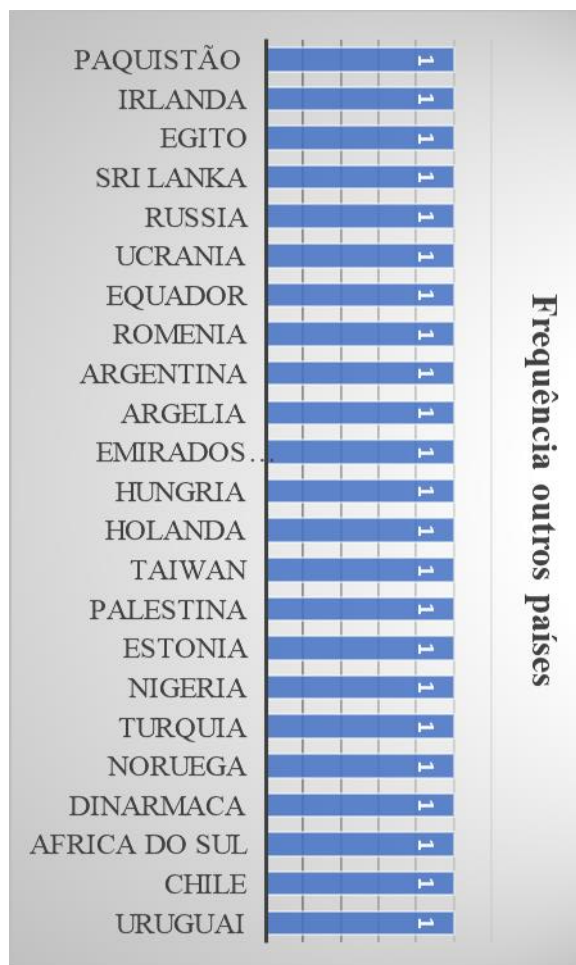


Figura 10 - Frequência outros países

Fonte: Elaborado pela autora

Em relação aos métodos utilizados nas pesquisas, os mais frequentes foram a revisão sistemática e, de forma semelhante, a revisão bibliográfica. O estudo de caso e a pesquisa (Survey) também foram amplamente empregados, proporcionando um equilíbrio entre teoria e prática, ou seja, entre levantamento bibliográfico e estudos empíricos, que demonstram o contexto da Indústria 4.0 e do Lean em utilização. Além desses métodos, a análise de relacionamentos e o teste de hipóteses também foram utilizados, buscando analisar a integração das tecnologias e das ferramentas com uma abordagem diferenciada.

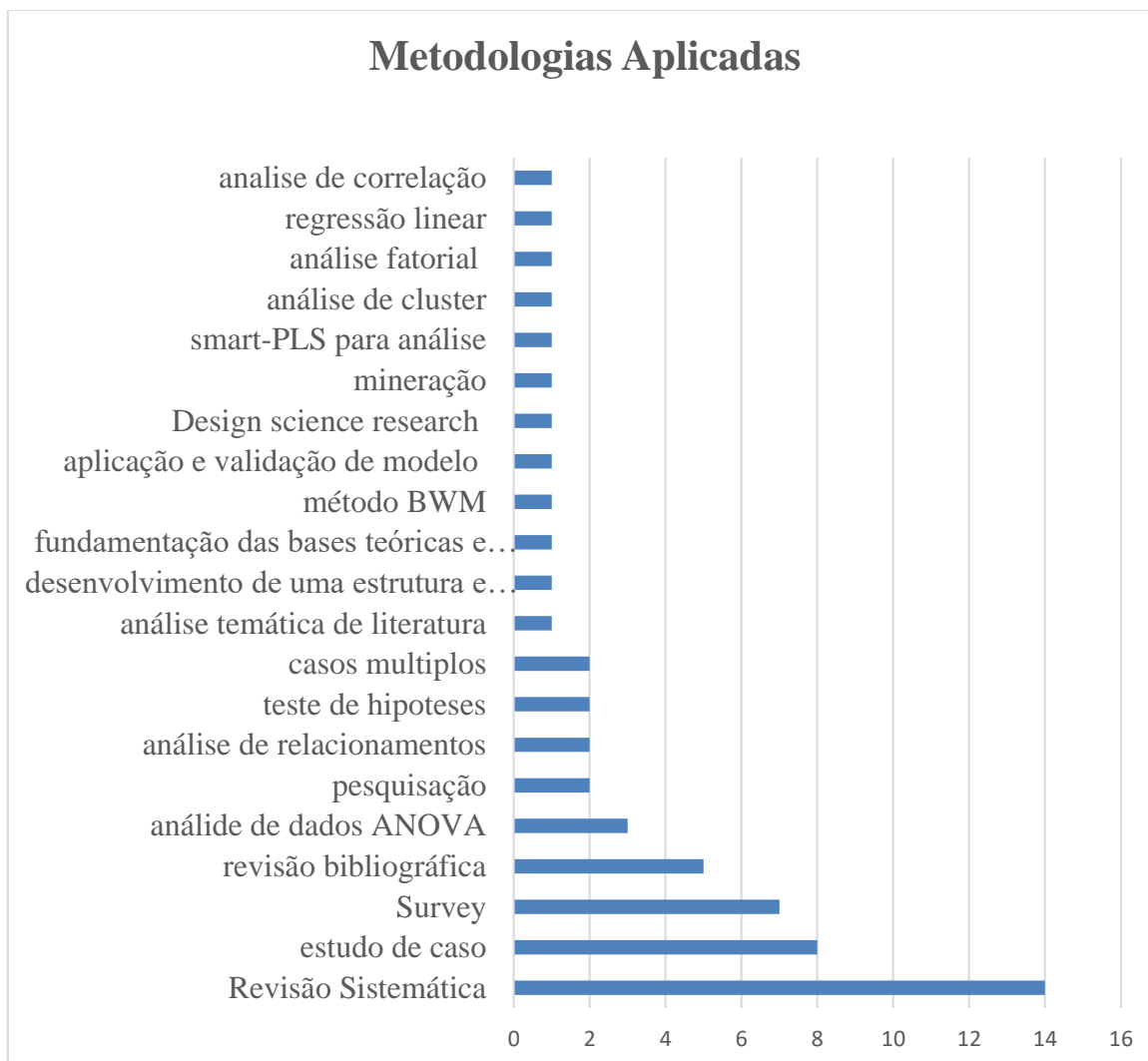


Figura 11-Métodos encontrados nos artigos selecionados

Fonte: Elaborado pela autora

Os setores que obtiveram maior frequência de estudos entre os artigos analisados foram na área Metalmeccânica com 26%, Manufatura e Automotivo com 24%, a área de Alimentos com 15%, Construção com 13% e Química com 11%. Além desses, outros setores estudaram a temática, porém com frequência menor, como vista no Quadro 1.

Quadro 1-Setores dos artigos estudados

Setor	Fábrica mineração	Saúde	Manufatura	Diversos em um mesmo estado	TI	Serviços Financeiros	Sector Público	Energia	Construção	Químico	Automotivo	Metal- Mecânica	Têxtil	Alimentos	Não específica	Academica	Eletrônica	Calçados	Móveis	Plásticos
Artigos																				
(ABBADI et al., 2020)															X					
(TRIPATHI et al., 2022)	X																			
(SAXBY et al., 2020)			X																	
(FORTUNY-SANTOS et al., 2020)																				
(LANGAKOON et al., 2022)		X																		
(TRIPATHI et al., 2021)			X																	
(KULINICH et al., 2021)		X	X	X	X	X	X	X	X											
(NARULA et al., 2022)			X																	
(SAURIN et al., 2021)				X						X	X	X	X	X						
(DING et al., 2021)																				
(MUELLER et al., 2020)			X																	
(TORTORELLA et al., 2020)				X						X	X					X	X			
(REYES et al., 2021)																		X		
(FLORESCU et al., 2022)			X																	
(HADDUD et al., 2020)			X													X				
(TORTORELLA et al., 2022)		X																		
(BALAJI et al., 2020)																				
(LUGERT et al., 2018)				X								X								
(JAVAIID et al., 2022)			X																	
(FERREIRA et al., 2022)			X																	
(WANG et al., 2021)																				X
(PEREIRA et al., 2019)															X					
(STADNICKA et al., 2019)												X								
(TORTORELLA et al., 2021)				X						X	X			X					X	
(NEDJWA et al., 2022)															X					
(ROSIN et al., 2020)															X					
(GHOUAT et al., 2021)			X	X						X	X	X	X	X						
(PEREIRA et al., 2022)			X	X				X		X										
(TORTORELLA et al., 2018)																				
(TRAN et al., 2021)																				
(TORTORELLA et al., 2019)				X					X		X	X	X							
(PAGLIOSA et al., 2021)															X					
(RAMADAN et al., 2020)																				
(RAJI et al., 2021)																				
(BITTENCOURT et al., 2021)				X	X			X		X	X				X				X	
(TIEP et al., 2020)															X					
(MAHDAVISHARIF et al., 2022)															X					
(VALAMEDE e AKKARI, 2020)															X					
(CIFONE et al., 2021)			X	X						X	X			X		X	X			
(YILMAZ et al., 2022)				X						X	X	X		X						X
(MIQUEO et al., 2020)																				
(ANOSIKE et al., 2021)				X				X		X		X					X			X
(DILLINGER et al. 2020)				X				X		X	X						X			X
(LEKAN et al., 2020)								X												
(CIANO et al., 2021)				X								X					X			
(PEÇAS et al., 2021)																				
(RYBSKI e JOCHEM, 2021)				X		X			X								X			
(SEKTÖRÜNDE SÜREÇLERİN İYİLEŞTİRİLMESİNE et al., 2018)		X																		
(SAABYE et al., 2020)								X												
(SALVADORINHO e TEIXEIRA, 2021)									X											
(BUER et al., 2018)			X	X					X		X									
(MIORANDO et al., 2019)				X					X		X	X	X							
(SANTOS et al., 2021)		X								X										X
(SAWHNEY et al., 2021)				X						X	X	X		X						
Percentual de Setores observados no artigo	2%	9%	24%	33%	4%	4%	2%	4%	13%	11%	24%	26%	9%	15%	17%	6%	11%	2%	7%	6%

Fonte: Elaborado pela autora

2.1.4 Análise da ligação entre Indústria 4.0 e Lean Manufacturing

Cada artigo analisado traz uma abordagem e uma forma de relacionar a I4.0 com o LM, sendo assim, buscou-se categorizar as tecnologias utilizadas com mais frequência, as **ferramentas do Lean** e as melhorias/benefícios geradas pela união de ambos os conceitos conforme quadro a seguir.

Quadro 2-Relação das tecnologias abordadas em cada artigo estudado

Tecnologia	Sistema Cyberfísico	Internet das Coisas	Big Data	Nuvem	Realidade Virtual	Robótica	Impressão 3D	Simulação	Integração Vertical/Horizontal	Comunicação Máquina a Máquina	Radiofrequência	Sensores	Sistema de Rastreamento	Fabricação Inteligente	Segurança Cibernética	Inteligência Artificial	Gêmeos Digital	Manufatura aditiva
Artigo																		
(ABBADI et al., 2020)	X	X			X						X	X						
(TRIPATHI et al., 2022)	X	X		X							X		X			X		
(SAXBY et al., 2020)	X	X	X	X			X		X					X				
(FORTUNY-SANTOS et al., 2020)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X						X
(ILANGAKOON et al., 2022)	X	X	X	X							X			X				
(TRIPATHI et al., 2021)						X		X			X	X	X					
(KULINICH et al., 2021)		X	X	X	X	X	X	X										
(NARULA et al., 2022)		X	X	X	X	X	X	X	X						X			X
(SAURIN et al., 2021)		X		X							X							
(DING et al., 2021)	X	X		X		X	X									X		
(MUELLER et al., 2020)	X		X	X	X			X	X	X	X							
(TORTORELLA et al., 2020)		X	X	X	X	X	X			X	X	X		X		X		
(REYES et al., 2021)		X	X	X		X	X	X			X		X		X	X		
(FLORESCU et al., 2022)	X	X	X	X	X	X	X	X		X						X	X	
(HADDUD et al., 2020)		X	X	X	X		X				X	X		X				
(TORTORELLA et al., 2022)		X	X	X							X		X			X		
(BALAJI et al., 2020)		X									X							
(LUGERT et al., 2018)		X	X				X	X										
(JAVAIID et al., 2022)	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X			X	X		X
(FERREIRA et al., 2022)		X	X	X			X	X			X							
(WANG et al., 2021)	X	X	X					X		X		X				X		
(PEREIRA et al., 2019)		X	X	X	X	X	X	X			X						X	
(STADNICKA et al., 2019)						X				X								
(TORTORELLA et al., 2021)		X	X	X							X	X		X				
(NEDJWA et al., 2022)	X	X	X	X	X	X	X	X				X		X			X	
(ROSIN et al., 2020)		X	X	X	X	X		X	X	X								
(GHOUAT et al., 2021)	X	X	X	X		X				X	X	X						X
(PEREIRA et al., 2022)					X	X					X					X		X
(TORTORELLA et al., 2018)	X	X	X	X		X	X					X						X
(TRAN et al., 2021)	X		X		X			X		X	X	X		X			X	
(TORTORELLA et al., 2019)			X	X			X	X				X		X				
(PAGLIOSA et al., 2021)	X	X	X	X	X	X		X	X									X
(RAMADAN et al., 2020)	X	X		X				X			X	X						
(RAJI et al., 2021)	X	X	X	X	X	X	X			X								X
(BITTENCOURT et al., 2021)	X	X				X				X								
(TIEP et al., 2020)	X	X		X										X				
(MAHDAVISHARIF et al., 2022)	X	X	X	X	X	X	X	X				X				X		X
(VALAMEDE e AKKARI, 2020)			X	X	X	X		X							X			
(CIFONE et al., 2021)	X	X			X	X											X	X
(YILMAZ et al., 2022)	X	X		X	X	X		X			X	X						
(MIQUEO et al., 2020)	X	X	X	X	X	X				X			X				X	X
(ANOSIKE et al., 2021)	X	X	X	X							X							
(DILLINGER et al. 2020)	-----																	
(LEKAN et al., 2020)	X	X		X	X	X		X	X	X				X	X	X		X
(CIANO et al., 2021)		X	X	X	X	X	X	X	X		X					X	X	X
(PEÇAS et al., 2021)	X	X	X	X	X	X	X	X	X						X	X	X	
(RYBSKI e JOCHEM, 2021)	X		X	X	X	X		X			X	X						X
(SEKTÖRÜNDE SÜREÇLERİN İYİLEŞTİRİLMESİNE et al., 2020)		X																
(SAABYE et al., 2020)	X	X	X	X	X	X		X		X								
(SALVADORINHO e TEIXEIRA, 2021)	X	X	X	X	X	X	X				X							
(BUER et al., 2018)	X	X	X				X			X				X				
(MIORANDO et al., 2019)		X	X	X			X	X				X						X
(SANTOS et al., 2021)	X	X	X	X				X	X	X	X							
(SAWHNEY et al., 2021)		X	X	X	X				X		X	X						
Porcentagem de artigos que incluem a tecnologia	57%	83%	61%	78%	48%	56%	41%	52%	22%	30%	48%	35%	9%	20%	11%	24%	15%	28%

Fonte: Elaborado pela autora

O Quadro 2 demonstra as tecnologias mais abordadas em cada artigo estudado. É importante destacar que pode haver tecnologias mencionadas de forma mais isolada em alguns artigos, e, portanto, não constam no quadro.

Ao observar as tecnologias com maior porcentagem de presença nos artigos, a Internet das Coisas alcançou 83% do total. Essa tecnologia apresenta efeitos positivos na melhoria de processos quando associada às ferramentas Lean, como o mapeamento VSM. Isso ocorre devido à identificação mais rápida de desperdícios no fluxo de valor, à coleta e transmissão de informações sobre processos de criação de valor, bem como à identificação e monitoramento de variações nos aspectos funcionais do sistema (FLORESCU e BARABAS, 2022). Em outras palavras, conforme destacado por Peças et al. (2021), a IoT possibilita o monitoramento da operação/máquina em tempo real.

Outra tecnologia com uma alta porcentagem foi a Computação em Nuvem, atingindo 78%. Essa tecnologia possui a capacidade de compartilhar conhecimento em toda a cadeia de suprimentos quando implementada juntamente com o aprendizado de máquina em processos de produção. Além disso, ela pode ajustar os planos de produção e estoque em conjunto com a filosofia Just-in-Time (JIT) e sistemas de rastreamento. A Computação em Nuvem também pode ser utilizada em plantas de produção e armazéns para conferir mudanças na capacidade de resposta do desempenho do processo quando aprimorado em conjunto com a ferramenta Andon (FLORESCU e BARABAS, 2022).

A tecnologia Big Data esteve presente em 61% dos artigos, envolvendo o uso de ferramentas de software poderosas para cobrir grandes quantidades de dados. Isso traz benefícios à melhoria contínua dos processos e à eliminação de desperdícios, por meio da elevada capacidade de coleta, compartilhamento e utilização de dados em tempo real, juntamente com a análise automática (FLORESCU e BARABAS, 2022). A relevância do Big Data está na capacidade do sistema em prever situações problemáticas antes que elas aconteçam, antecipando problemas de maneira que não seria possível nas práticas convencionais. Este princípio é destacado em abordagens conceituais que mencionam o potencial do Big Data, ou seja, a análise de big data, para ajudar os funcionários a determinarem correlações de causa e efeito, bem como tendências para prever problemas que estão ocorrendo em um processo (PEÇAS et al., 2021).

A tecnologia do Sistema Cibernético foi citada em 57% dos artigos analisados neste estudo. Trata-se de um sistema inteligente implementado no ambiente da Indústria

4.0, contribuindo para a melhoria da produção Lean. No nível operacional, identifica atividades de criação de valor, mapeamento de fluxo e reconfiguração flexível utilizando ferramentas digitais, como tecnologias RFID, e-Kanban, IoT e tecnologias em nuvem (FLORESCU e BARABAS, 2022).

A Robótica apareceu em 56%, sendo introduzida nas indústrias com robôs colaborativos, que realizam tarefas repetitivas e não ergonômicas em colaboração direta com o operador, auxiliando na padronização, diminuindo erros, reduzindo tempo e aumentando a qualidade (CIANO et al., 2021; SAXBY et al., 2020).

Ciano et al. (2021) relatam que a tecnologia de Simulação pode alavancar dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, de fato, treinamentos ou simulações de cenários podem ser realizados em um contexto seguro, replicando o ambiente, sendo a Simulação encontrada em 52% dos artigos.

A Realidade Virtual apareceu em 48%, sendo está uma tecnologia de ponta implementada em sistemas inteligentes de manufatura (CPS) que, juntamente com a simulação, podem caminhar paralelamente com a manufatura Lean, apoiando os princípios de eliminação de desperdícios JIT ou KAIZEN para melhoria contínua e redução do TPM de paradas auxiliares no processo, auxiliando na autoaprendizagem e treinamento efetivos dos colaboradores (FLORESCU e BARABAS, 2022).

A Robótica apareceu em 56%, sendo introduzida nas indústrias por meio de robôs colaborativos, que realizam tarefas repetitivas e não ergonômicas em colaboração direta com o operador. Esses robôs auxiliam na padronização, diminuem erros, reduzem o tempo e aumentam a qualidade (CIANO et al., 2021; SAXBY et al., 2020).

Ciano et al. (2021) destacam que a tecnologia de Simulação pode alavancar dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual. Treinamentos ou simulações de cenários podem ser realizados em um contexto seguro, replicando o ambiente. A Simulação foi encontrada em 52% dos artigos.

A Realidade Virtual apareceu em 48%, sendo uma tecnologia de ponta implementada em sistemas inteligentes de manufatura (CPS). Juntamente com a simulação, ela pode caminhar paralelamente com a manufatura Lean, apoiando os princípios de eliminação de desperdícios JIT ou KAIZEN para melhoria contínua e redução do TPM de paradas auxiliares no processo. Além disso, auxilia na autoaprendizagem e treinamento efetivos dos colaboradores (FLORESCU e BARABAS, 2022).

A tecnologia de identificação por Radiofrequência (RFID) teve uma porcentagem de 48% e é capaz de fornecer informações para o gerenciamento da produção por meio de um Sistema Executivo de Manufatura (MES). Ela coleta informações relevantes sobre inventário, localização, identificação, rede e interface homem-máquina (PEREIRA et al., 2019). A integração do sistema físico e do sistema de software por meio de informações em tempo real via Dispositivos de Identificação por Radiofrequência (RFID) e sensores permite uma integração avançada em diversos sistemas aplicativos, proporcionando melhor controle de qualidade, minimizando o tempo de configuração da máquina e encurtando os períodos de desenvolvimento e inovação (DING et al., 2021).

A Impressão 3D, com 41%, tem a capacidade de construir produtos sob medida em um curto prazo de entrega na fase de desenvolvimento do produto, tornando-se um dos principais contribuintes para a Indústria 4.0 de uma perspectiva de manufatura enxuta (DING et al., 2021). Além disso, quando mudanças de capacidade são necessárias para atender o *takt time*, é possível fornecer rapidamente incrementos adicionais de capacidade sem perdas significativas na flexibilidade do mix de produção (TORTORELLA et al., 2020).

Outras tecnologias, como Integração Vertical/Horizontal, Inteligência Artificial, Sistema de Rastreamento, Segurança Cibernética, Gêmeos Digital e Fabricação Inteligente, foram relatadas com menor frequência. Embora sejam igualmente importantes, essas tecnologias não foram aprofundadas devido à menor porcentagem de estudos e conteúdo relevante sobre elas.

Quadro 3-Relação das ferramentas abordadas em cada artigo estudado

Ferramentas do Lean	Fluxo de Valor (VSM)	5S	Kanbans	Exibição de Satus (Andon)	Melhoria Contínua/Kaizen	Poka Yoke	Fabricação Celular	Manutenção Produtiva Total, TPM	Jidoka	PDCA	TQM	Heijunka	Just in Time	SMED	OEE
Artigos															
(ABBADI et al., 2020)	X		X	X		X			X				X	X	
(TRIPATHI et al., 2022)	X		X	X		X		X							
(SAXBY et al., 2020)	X	X	X	X	X			X	X			X	X	X	
(FORTUNY-SANTOS et al., 2020)	X	X			X	X	X	X	X				X	X	
(ILANGAKOON et al., 2022)			X	X	X	X									
(TRIPATHI et al., 2021)	X	X			X			X					X	X	X
(KULINICH et al., 2021)			X				X	X	X						
(NARULA et al., 2022)	X	X	X		X	X		X	X	X				X	
(SAURIN et al., 2021)					X			X		X			X		
(DING et al., 2021)	X	X	X			X			X						
(MUELLER et al., 2020)					X										
(TORTORELLA et al., 2020)	X														
(REYES et al., 2021)	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
(FLORESCU et al., 2022)	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(HADDUD et al., 2020)	X				X	X		X					X		
(TORTORELLA et al., 2022)	X				X										
(BALAJI et al., 2020)	X				X										
(LUGERT et al., 2018)	X		X						X						
(JAVAI et al., 2022)	X	X			X			X	X			X	X		
(FERREIRA et al., 2022)															
(WANG et al., 2021)	X		X										X		
(PEREIRA et al., 2019)	X												X		
(STADNICKA et al., 2019)	X	X		X	X	X		X				X	X		
(TORTORELLA et al., 2021)	X				X							X	X	X	
(NEDJWA et al., 2022)	X	X			X				X			X	X		
(ROSIN et al., 2020)		X	X	X	X				X			X			
(GHOUAT et al., 2021)	X													X	X
(PEREIRA et al., 2022)	X				X			X		X			X		
(TORTORELLA et al., 2018)	X								X	X			X	X	
(TRAN et al., 2021)	X	X	X					X		X					
(TORTORELLA et al., 2019)	X	X	X	X	X				X	X	X				
(PAGLIOSA et al., 2021)	X		X									X			
(RAMADAN et al., 2020)							X	X		X			X		
(RAJI et al., 2021)	X	X	X	X	X	X		X				X			
(BITTENCOURT et al., 2021)						X		X					X		
(TIEP et al., 2020)															
(MAHDAVISHARIF et al., 2022)	X	X	X		X								X		
(VALAMEDE e AKKARI, 2020)	X		X		X	X		X					X		
(CIFONE et al., 2021)								X							
(YILMAZ et al., 2022)	X	X	X	X	X	X			X			X	X	X	
(MIQUEO et al., 2020)	X		X	X	X		X		X					X	X
(ANOSIKE et al., 2021)	X				X			X					X		X
(DILLINGER et al., 2020)					X	X			X						
(LEKAN et al., 2020)	X					X		X							
(CIANO et al., 2021)	X	X	X	X		X		X	X			X	X	X	X
(PEÇAS et al., 2021)	X		X		X			X	X	X			X		
(RYBSKI e JOCHEM, 2021)		X			X	X								X	
(SEKTÖRÜNDE SÜREÇLERİN İYİLEŞTİRİLMESİNE et al., 2018)	X														
(SAABYE et al., 2020)	X	X	X	X	X	X		X		X		X		X	X
(SALVADORINHO e TEIXEIRA, 2021)	X	X	X	X	X	X		X				X		X	
(BUER et al., 2018)	X	X	X	X		X						X	X		
(MIORANDO et al., 2019)	X								X				X		
(SANTOS et al., 2021)	X	X	X		X			X		X	X	X	X	X	
(SAWHNEY et al., 2021)	X	X	X	X	X	X	X		X			X			
Percentual de Ferramentas utilizadas nos artigos	78%	43%	50%	30%	69%	41%	11%	48%	35%	9%	17%	33%	50%	31%	13%

Fonte: Elaborado pela autora

Dentre as ferramentas empregadas, 78% correspondem ao Fluxo de Valor (VSM), que proporciona rastreamento em tempo real. Essa funcionalidade permite aos funcionários reagirem de forma mais ágil a potenciais incidências quando integrada a tecnologias como RFID. Adicionalmente, ao ser integrado à tecnologia do Big Data, o VSM pode ser utilizado para previsões, ao coletar dados por meio de rastreamento em tempo real. Dessa forma, essa integração busca potencialmente evitar desperdícios no consumo de recursos e prevenir danos aos trabalhadores (SALVADORINHO e TEIXEIRA, 2021). Além dessas aplicações, a ferramenta demonstra versatilidade ao aumentar a capacidade de produção, gerenciar a demanda flutuante, aprimorar a utilização de gargalos e atender às demandas dos clientes (YILMAZ et al., 2022).

Por meio da Melhoria Contínua/Kaizen, presente em 69% dos 54 artigos, é possível capturar, compartilhar, processar e encaminhar informações facilmente para as pessoas certas e para ações necessárias. Isso é realizado por meio de produtos "inteligentes" sensorizados, responsáveis por capturar esses dados (FORTUNY-SANTOS et al., 2020; HADDUD e KHARE, 2020).

A Digitalização de *kanbans*, como, por exemplo, quando as lixeiras vazias são reconhecidas automaticamente por meio de sensores e os pedidos de reabastecimento são transmitidos aos fornecedores, colabora com os sistemas *kanban* tradicionais. Estes contam com valor fixo, tempos de ciclo fixos e viagens fixas de ida e volta para o transporte de mercadorias. Esses sistemas tornam-se dinâmicos por natureza. Essa ferramenta teve 50% do total dos artigos (FORTUNY-SANTOS et al., 2020).

O Just-In-Time (JIT) que também apareceu em 50% dos artigos, pode ser implementado em um espaço de trabalho de Segurança na Colaboração Homem-Robô para garantir que um robô entregue um produto a um operador humano a tempo de garantir um trabalho contínuo. No entanto, a implementação do JIT nesse cenário requer a implementação de outras ferramentas enxutas, como *Takt Time*, Trabalho Padronizado, Fluxo de Valor e *Heijunka* (STADNICKA e ANTONELLI, 2019).

Além disso, o JIT pode ser utilizado para fornecer mais controle de operações e atividades ao visualizar toda a cadeia de suprimentos digital, prever uma demanda mais chamando a atenção recentemente para integração com tecnologias I4.0. Neste estudo ela apareceu com 48%, e por meio da análise de *big data*, é possível que informações e dados em tempo real deem suporte à ela, por meio de sensores que produzem dados que são contrastados com as informações da máquina e da peça

específica que está sendo processada, permitindo manter continuamente sob controle e prever a incidência de falhas, pois há vários sinais e tendências de que o componente apresenta “sintomas” de falha futura ou degradação no desempenho (SALVADORINHO e TEIXEIRA, 2021).

O 5S que foi encontrado em 43% dos artigos e possui papel importante em relação ao espaço de trabalho colaborativo (Humano-Robô) pois um robô executa uma sequência programada de movimentos e as ferramentas e/ou peças de montagem precisam estar localizadas em locais específicos onde um robô possa acessá-las. A implementação do 5S garante que apenas o que é necessário para realizar uma tarefa de trabalho pré-definida esteja no estande de trabalho, tudo tem seu local específico, a área de trabalho deve estar limpa e inspecionada e os padrões (SOP) pertencentes ao robô e ao trabalho humano são desenvolvidos e apresentados (STADNICKA e ANTONELLI, 2019).

A ferramenta Poka Yoke que obteve uma observância de 41% pode proporcionar uma melhor rastreabilidade dos produtos por meio de maior visibilidade da cadeia de suprimentos nesse contexto de interação Lean e I4.0 (HADDUD e KHARE, 2020), além de suas soluções, ao serem implementada em locais de trabalho colaborativos, serem capazes de evitar erros. Pode-se citar como exemplo que um robô pode cometer erros, e é por isso que todos os sensores implementados desempenham um papel nas soluções Poka Yoke, detectando o movimento humano e parando um robô para evitar colisões, sendo que, as razões pelas quais um robô comete erros estão relacionadas à programação do robô e à precisão do sensor. Simulações também podem ser introduzidas para desempenhar o papel de soluções Poka Yoke para antecipar possíveis erros (STADNICKA e ANTONELLI, 2019).

Das ferramentas com um percentual razoável tem-se por último o Jidoka com 35%, que colabora na redução de produtos defeituosos, por meio da utilização de tecnologias ou um equipamento ou um processo que seja “inteligente” o suficiente para identificar uma condição anormal e indesejada e parar para não produzir um produto ou informação defeituoso (FRANCO-SANTOS et al., 2007).

Fora as ferramentas citadas anteriormente, também foram identificadas o Heijunka, SMED, Exibição de Status Andon, TQM, OEE, Fabricação Celular e PDCA, que assim como as outras também têm suas particularidades e trazem seus benefícios ao serem integradas com as tecnologias da I4.0.

Por conseguinte, após classificar as tecnologias da I4.0 e as ferramentas do Lean com maior abrangência nos 54 artigos analisados neste estudo, foram identificados alguns benefícios e melhorias possíveis por meio da interação de ambos. Como mencionado anteriormente em relação aos quadros supracitadas, apenas os benefícios discutidos em maior número de artigos e com maior frequência foram incorporados no Quadro 4, embora possam existir melhorias não explicitamente demonstradas.

Quadro 4-Benefícios derivados da união das tecnologias da I4.0 com ferramentas do Lean

Benefícios	Gestão visual dinâmica	Reduzido Tempo	Custo	Eficiência	Reduzido Defeitos	Maquinário Utilização	Deseperno Operacional	Flexibilidade	Otimização Contínua	Qualidade	Redução de Estoque	Confiabilidade
Artigos												
(ABBADI et al., 2020)	X		X					X		X		
(TRIPATHI et al., 2022)		X	X	X	X	X						
(SAXBY et al., 2020)				X	X				X		X	
(FORTUNY-SANTOS et al., 2020)			X		X			X		X	X	
(ILANGAKOON et al., 2022)		X		X				X				
(TRIPATHI et al., 2021)		X	X	X		X	X	X		X		
(KULINICH et al., 2021)		X	X							X		
(NARULA et al., 2022)							X					
(SAURIN et al., 2021)					X		X			X	X	
(DING et al., 2021)		X	X					X		X	X	X
(MUELLER et al., 2020)	X	X	X		X				X	X		
(TORTORELLA et al., 2020)				X				X				
(REYES et al., 2021)		X	X		X			X		X	X	
(FLORESCU et al., 2022)		X	X					X		X	X	X
(HADDUD et al., 2020)	X		X		X			X	X	X	X	
(TORTORELLA et al., 2022)		X			X				X	X	X	
(BALAJI et al., 2020)		X			X				X			
(LUGERT et al., 2018)		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
(JAVAIID et al., 2022)			X	X			X	X	X	X	X	
(FERREIRA et al., 2022)			X					X				X
(WANG et al., 2021)		X	X	X	X		X	X				
(PEREIRA et al., 2019)		X		X	X		X					
(STADNICKA et al., 2019)									X			
(TORTORELLA et al., 2021)				X			X			X	X	X
(NEDIWA et al., 2022)				X					X	X	X	
(ROSIN et al., 2020)	X	X			X	X	X		X	X		
(GHOUAT et al., 2021)		X	X				X	X	X	X	X	
(PEREIRA et al., 2022)		X			X		X		X	X		X
(TORTORELLA et al., 2018)		X		X	X		X					
(TRAN et al., 2021)				X	X		X			X	X	
(TORTORELLA et al., 2019)												
(PAGLIOSA et al., 2021)		X							X			
(RAMADAN et al., 2020)		X				X		X				
(RAJI et al., 2021)		X	X	X			X	X		X	X	X
(BITTENCOURT et al., 2021)			X		X	X	X	X				
(TIEP et al., 2020)												
(MAHDAVISHARIF et al., 2022)			X	X	X		X			X		X
(VALAMEDE e AKKARI, 2020)			X	X	X			X		X		X
(CIFONE et al., 2021)	X	X						X				
(YILMAZ et al., 2022)		X	X	X	X	X	X			X		X
(MIQUEO et al., 2020)			X					X		X	X	
(ANOSIKE et al., 2021)		X		X	X		X	X				
(DILLINGER et al. 2020)	X						X					
(LEKAN et al., 2020)		X		X						X		
(CIANO et al., 2021)		X						X				
(PEÇAS et al., 2021)		X			X	X		X		X		
(RYBSKI e JOCHEM, 2021)	X	X	X		X			X				
(SEKTÖRÜNDE SÜREÇLERİN İYİLEŞTİRİLMESİNE et al., 2018)												
(SAABYE et al., 2020)					X	X			X			
(SALVADORINHO e TEIXEIRA, 2021)	X				X			X		X	X	
(BUER et al., 2018)			X	X				X		X	X	
(MIORANDO et al., 2019)			X	X	X					X	X	
(SANTOS et al., 2021)		X			X			X	X	X	X	
(SAWHNEY et al., 2021)	X	X			X	X		X		X		
Percentual de benefícios resultados nos artigos	17%	54%	44%	39%	52%	17%	35%	52%	28%	57%	37%	19%

Fonte: Elaborado pela autora

Na literatura, normalmente a principal área de preocupação com relação à compatibilidade é a diferente base de operação dos dois conceitos, ou seja, LM é gerencial enquanto I4.0 é tecnológica. Pesquisadores questionam se o aumento dos requisitos de TI para implantação de I4.0 pode aumentar a complexidade das operações de chão de fábrica, em contraste com a simplicidade que o LM oferece às organizações. As descobertas derivadas de pesquisas sobre o tema parecem aliviar essas preocupações até certo ponto, e pode-se argumentar que a natureza descentralizada de ambos os conceitos, que facilitam a flexibilidade e a customização, parece ser uma sinergia que suporta sua compatibilidade de implementação. Além disso, o argumento de que as tecnologias da I4.0 são mais facilmente implementadas em organizações de manufatura repetitiva, nas quais os métodos LM são altamente aplicáveis, sustenta sua compatibilidade (KOLBERG et al., 2015; ANOSIKE et al., 2021)

Já em relação às melhorias/benefícios derivados dessa junção foi possível visualizar algumas, como a qualidade, encontrada em 57% dos artigos e oriunda de ferramentas Lean e aprimorada pelas tecnologias da I4.0, em que fábricas e operações inteligentes podem ajudar as empresas a reduzirem custos, aumentar a qualidade e rastrear melhor o fluxo de produtos ao longo do processo de produção (JAVOID et al., 2022).

A interação também possibilita a redução de tempo, vista em 54% dos artigos, uma vez que, pessoas, materiais e equipamentos ociosos podem gerar custos extras, mas, além de ferramentas do Lean para diminuírem o tempo, a “configuração automatizada” também visa redução de inatividade sempre que ocorre uma mudança de processo (FRANCO-SANTOS et al., 2007).

Aliás, a união dos conceitos também proporciona a flexibilidade (52% dos artigos) por meio das tecnologias da I4.0, por exemplo, a manufatura aditiva e realidade aumentada podem ser adotadas como meio de aumentar a flexibilidade do processo, evitando a ocorrência de qualquer problema crítico durante a transição, respectivamente ((FRANCO-SANTOS et al., 2007).

Também temos a redução dos defeitos com 52%, originária tanto das ferramentas Lean quanto das tecnologias da I4.0, como visto anteriormente em que a utilização de dados em tempo real e da sua análise automática podem evitar falhas, diminuindo defeitos, assim como, a ferramenta Poka Yoke juntamente com o robô podem evitar

defeitos, a ferramenta Jidoka com processos inteligentes, entre outros que colaboram e geram esse benefício (FLORESCU e BARABAS, 2022).

O custo aparece em 44% dos artigos e é decorrente da redução de redução dos defeitos, redução do tempo, decorridas da cultura Lean. É possível citar ainda a eficiência (39%), em que temos como exemplo o suporte adequado à tomada de decisões e cooperação de equipe para gerenciar desafios situacionais com tomada de decisão quase em tempo real para evitar o impacto de eventos imprevistos gerado pelo novo conjunto de opções de gerenciamento digital enxuto (JAVAID et al., 2022).

A redução de estoque, observada em 37% dos artigos, pode manifestar-se ao longo de toda a cadeia logística, abrangendo os estágios de fornecimento, produção e entrega ao cliente. Destaca-se que a atividade de entrega é integrada através do Sistema de Produção Enxuta (CPS) ao sistema Just-In-Time (JIT) clássico, juntamente com a Internet das Coisas (IoT) no processamento automático de pedidos (FLORESCU e BARABAS, 2022).

E o desempenho operacional (35%) em que, ao alavancar sistemas digitais e físicos por meio da transição para o Lean 4.0 em empresas, possibilita o acesso a novas ideias e conceitos que lhes permitem melhorar ainda mais a sua excelência operacional. A coleta de dados em tempo real é possibilitada pela conexão de dispositivos, sensores, equipamentos e software, permitindo que os gerentes vão além da melhoria de processos ou antecipação de problemas, pois os capacita a produzir melhores resultados, ao mesmo tempo em que garante que eles cumpram as expectativas (TRIPATHI et al., 2022).

2.1.5 Considerações finais

As caracterizações realizadas pelo estudo demonstraram como encontra-se a literatura que relaciona as tecnologias da I4.0 com as ferramentas do LM e esclareceu que são positivos os impactos gerados nos processos de produção por meio do uso das tecnologias que vêm junto com a digitalização da quarta revolução industrial. Além disso, foi possível observar que o LM é uma base para I4.0, ocorrendo então uma interação entre os conceitos e um complemento da I4.0 ao LM.

O LM considera qualquer atividade que não agregue valor ao produto como desperdício e os retira do processo de fabricação para reduzir os custos, enquanto a I4.0 otimiza a informatização da terceira revolução industrial e torna o processo de fabricação

mais inteligente, eficaz e produtivo, sendo que, a aplicabilidade do LM irá adquirir uma importância especial com a introdução da Indústria 4.0, levando as empresas a níveis superiores de excelência. Assim, a identificação de uma associação positiva entre a implementação de ambas as abordagens fornece aos gerentes e profissionais argumentos para aprimorar seus processos de negócios e lapidar sua cultura organizacional de acordo com os princípios e práticas de LM, enquanto introduzem tecnologias de Sistema ciberfísico e Tecnologia da Informação de forma colaborativa.

Porém, outros estudos trouxeram alguns pontos de desafios da interação da I4.0 com o Lean, mesmo esses estando em uma quantidade bem menor em comparação com os benefícios relatados, são desafios como: o alto investimento com tecnologia, aumento da complexidade e com isto, maior probabilidade de falha nos sistemas de manufatura entre outros (MUELLER et al., 2020).

Dessa forma, este trabalho contribui para o desenvolvimento de pesquisas sobre a relação entre a I4.0 e o LM e, do ponto de vista gerencial, pode auxiliar os empreendedores a compreenderem melhor as implicações da adoção da I4.0 em relação ao LM.

No contexto acadêmico, a relevância da presente proposta de pesquisa reside na sua capacidade de orientar investigações futuras nesta trajetória, proporcionando novos insights nos domínios industrial e tecnológico. Tanto para a esfera acadêmica quanto para o setor empresarial, o tema proposto pode, posteriormente, desempenhar um papel instrumental ao servir como um recurso valioso para outras empresas. Isso implica no aumento da aplicação de métodos e ferramentas, contribuindo para o enriquecimento da literatura especializada sobre o assunto.

Adicionalmente, a validação de conjuntos de práticas e princípios relacionados à Aprendizagem Organizacional (AO) estabelece uma estrutura de implementação que direciona de maneira mais assertiva as iniciativas de melhoria contínua nas organizações durante a era da Quarta Revolução Industrial. A identificação de uma correlação positiva entre as ferramentas do Lean e as tecnologias da Indústria 4.0 evidencia as vantagens que a Aprendizagem Organizacional pode proporcionar aos fabricantes.

A compreensão do impacto do inter-relacionamento entre os conjuntos de práticas e princípios de Aprendizagem Organizacional no desempenho é, indubitavelmente, de grande interesse para a administração. À medida que os gestores se conscientizam dos

benefícios da Aprendizagem Organizacional, tornam-se mais propensos a promover e apoiar ativamente sua implementação.

A revisão sistemática aqui realizada poderá realçar atividades existentes na indústria, e (ou) erguer novas atividades através da compreensão dos possíveis impactos gerados pela relação de ambos os métodos, buscando assim, gerar dados que auxiliem no aumento da competitividade e melhorias na linha de produção. Contribuindo assim, até mesmo para a sociedade com respostas mais rápidas e eficientes às demandas de produtos que surgem no mundo.

Destaca-se que a presente pesquisa herda as limitações do próprio método da revisão sistemática da literatura, na medida em que restringe a pesquisa às bases selecionadas, além da possibilidade de poder não citar autores e trabalhos importantes devido às expressões de busca utilizadas.

Sendo assim, mais pesquisas devem ser realizadas para sugerir novas aplicações para as tecnologias da Indústria 4.0 para apoiar ainda mais as ferramentas Lean nos níveis de controle, otimização e autonomia. Além disso, seria relevante testar, em contextos de fábrica ou manufatura, até que ponto as ferramentas do LM já bem estruturadas e implementadas auxiliam e/ou facilitam a implementação das tecnologias da Industriais 4.0 e, em última instância, a produtividade das empresas manufatureiras. Uma perspectiva de pesquisa relevante seria validar o impacto das tecnologias da Indústria 4.0 nos sistemas industriais e para apoiar as ferramentas Lean.

Portando as interações fornecidas na pesquisa entre o gerenciamento das ferramentas do Lean e a Indústria 4.0 servem como base para pesquisas futuras com relação à implementação das tecnologias da I4.0 nas indústrias, considerando a filosofia Lean para se obter a futura fábrica inteligente.

3. ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS

A pesquisa visa descobrir o impacto da interação das tecnologias da Indústria 4.0 com o conceito Lean Manufacturing na percepção dos gestores de manufatura considerando informações relevantes de uma revisão sistemática da literatura realizada anteriormente. Para isso, utilizou-se a condução de estudo de casos múltiplos com o objetivo de trazer mais conhecimentos sobre o tema e aproximar esses conhecimentos da realidade e práticas realizadas, aumentando a validade interna, que, segundo Yin (2015),

se refere à garantia, mediante uma construção lógica, de que determinados resultados são realmente causados por determinadas condições – no caso, verificar a real condição da interação da Indústria 4.0 com o Lean. Além disso, destaca-se que a combinação de pesquisas quantitativas com pesquisas qualitativas é complementar, o que fortalece os resultados (GABLE, 1994). Dessa forma, foi realizado um estudo de casos múltiplos com três empresas de manufatura, uma da área alimentícia, uma da área de metalurgia e uma da área de eletrônicos.

O estudo de casos múltiplos permite a comparação entre casos para reconhecer padrões emergentes de relações entre constructos e investigar um contexto (YIN, 2015) como as dificuldades encontradas e os benefícios gerados nas empresas pela integração das ferramentas do Lean e as tecnologias da I4.0.

Para a seleção das empresas participantes do estudo de casos múltiplos, foram escolhidas organizações de manufatura que já implementaram princípios Lean, possuindo, simultaneamente, processos que incorporam tecnologias da Indústria 4.0. Essa escolha foi aliada à disposição das empresas em colaborar com a pesquisa, expressa por meio do retorno com resposta ao questionário e participação nas entrevistas.

A abordagem de todo o contexto descrito em relação ao estudo de múltiplos casos visou atender à segunda questão de pesquisa **Q2: "Qual é o impacto da interação entre as tecnologias da Indústria 4.0 e o conceito de Lean Manufacturing na perspectiva dos gestores de indústrias multinacionais?"**

3.1. METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS

Advindas das classificações e resultados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), realizada anteriormente com base em 54 artigos e fundamentada na Questão de Pesquisa Q1, foram identificadas 15 ferramentas do Lean Manufacturing (LM), 18 tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) e 12 melhorias/benefícios resultantes da interação entre as ferramentas do LM e as tecnologias da I4.0. Esses dados servirão como fundamento para o estudo de caso, no qual os participantes serão solicitados a selecionar as ferramentas do LM e as tecnologias da I4.0 já implementadas em suas empresas por meio do questionário a ser conduzido. Além disso, serão abordados na entrevista aspectos relacionados à implementação e interação dessas ferramentas do Lean com as tecnologias da I4.0.

Essas informações também serão empregadas como base para quantificar as melhorias e benefícios resultantes da interação entre as ferramentas do Lean e as tecnologias da I4.0 nas empresas estudadas no caso. Por fim, as percepções dos respondentes em relação às três abordagens (I4.0, Lean e benefícios) serão registradas.

Na entrevista, consideramos tanto a abordagem adotada pelas empresas na implementação das tecnologias da I4.0, ou seja, como estão efetivamente avançando em direção à digitalização, quanto o nível de implementação desse processo. Foi desenvolvido um protocolo de pesquisa ilustrado na Figura 13 e posteriormente descrito para aumentar a confiabilidade e validade da pesquisa de caso (YIN, 2015).

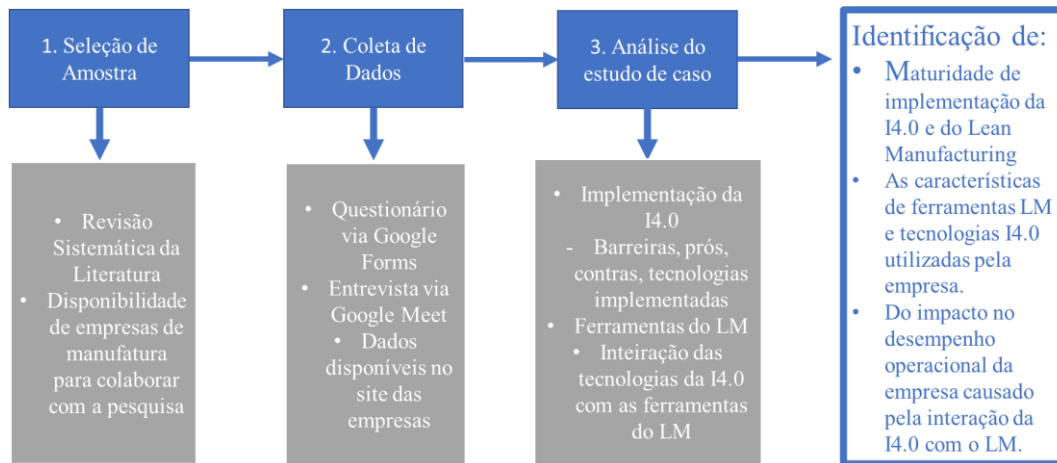


Figura 12-Protocolo de Pesquisa

Fonte: Elaborado pela autora

Na seleção da amostra primeiro foi realizada a revisão sistemática da literatura, para que fosse possível compreender melhor sobre o tema a ser pesquisado e o segmento das empresas que poderiam ser convidadas para participarem do estudo de caso. Assim sendo, foram consideradas as áreas com maior porcentagem de significância na RSL como sugestão para seleção das empresas a serem enviadas os questionários para o estudo. As áreas selecionadas foram estas: metalmeccânica com 26%, manufatura com 24%, automotiva com 24%, alimentícia com 15%, construção com 13%, eletrônicos com 11% e químico com 11%. Em seguida, foram encaminhados os questionários para gestores de algumas empresas dessas áreas que tivéssemos conhecimento sobre o uso das tecnologias da I4.0 e a abordagem do Lean com suas ferramentas já implementadas e em uso.

Para realizar a coleta de dados e efetuar a triangulação, adotamos um método abrangente que consistiu na aplicação de um questionário via Google Forms, na análise de informações disponíveis nos sites das empresas e na condução de entrevistas via Google Meet. O questionário único, apresentado no Apêndice 1, foi enviado aos entrevistados, solicitando respostas individuais. Este questionário abordou questões de natureza mais ampla, concentrando-se nas tecnologias da Indústria 4.0, nas ferramentas Lean adotadas pelas empresas e por último na maturidade de I4.0 na empresa.

Subsequentemente, realizamos a coleta de dados nos sites das empresas. A partir das respostas iniciais do questionário e dos dados disponíveis em cada site, elaboramos mais 12 perguntas, apresentadas no Apêndice 2, para conduzir a entrevista durante o encontro no Google Meet. Essas perguntas foram projetadas como uma base, pois durante as interações com os entrevistados, muitos deles forneciam exemplos que respondiam a algumas das questões previamente formuladas, tornando algumas delas dispensáveis. A conversa foi personalizada para cada empresa, e as 12 perguntas serviram praticamente apenas como um guia.

Com o objetivo de esclarecer informações essenciais de cada empresa, investigamos os dados disponíveis em seus respectivos sites, além de revisar as respostas fornecidas no questionário. Isso foi realizado para evitar possíveis dúvidas referentes aos dados e informações, buscando um entendimento mais abrangente e preciso.

Com os dados coletados, foi realizada uma análise, buscando por informações que relatassem sobre a implementação da I4.0 na empresa, contendo dados como: barreiras de implementação, prós e contras de implementar as tecnologias da I4.0, quais as tecnologias já foram implementadas, quais as ferramentas do LM já são utilizadas e bem estruturadas na empresa e quais ainda estão sendo implementadas.

Esses três passos ocorreram para que ao final fosse possível identificar a interação das tecnologias da I4.0 e das ferramentas do LM nas empresas estudadas e assim descobrir como está caminhando sua implementação, viabilizando caracterizar as ferramentas do LM e tecnologias da I4.0 utilizadas nas empresas, afim de ter um maior conhecimento sobre suas utilidades, seus benefícios, quais os incentivos em implementá-las nas empresas e como ocorrem suas interações, sendo essas, características que podem vir a serem úteis às demais empresas que desejem também implementar a I4.0.

Na correspondência de padrões e na análise de casos cruzados (VOSS, 2002; YIN, 2013), foram identificados os benefícios em agregar as tecnologias da I4.0 e as

ferramentas Lean em empresas de manufatura. Seguindo a técnica analítica de correspondência de padrões, que sugere que a chave para uma boa comparação entre casos é contrariar as tendências, olhando para os dados de muitas maneiras divergentes e buscando identificar semelhanças e diferenças entre dados incidentes e grupos de códigos (EISENHARDT, 1989; YIN, 2013) a pesquisa procura identificar desafios, dificuldades, benefícios, possíveis erros e acertos para a implementação das tecnologias digitais com o auxílio das ferramentas do Lean, assim como os resultados relacionados aos desempenhos dos negócios destacados.

3.1.1 Coleta de dados

Após a seleção de algumas empresas de manufatura, correspondentes a 24% do setor, conforme evidenciado na Revisão Sistemática da Literatura (RSL), ilustrada na Figura 14, que já implementaram e utilizam ferramentas do Lean e empregam tecnologias da Indústria 4.0, procedeu-se ao envio de questionários. Respostas foram obtidas de três empresas atuantes nos setores de metalmeccânica, alimentos e eletrônica. Essa escolha foi fundamentada na comparação com as áreas identificadas na revisão sistemática, constatando que uma das áreas de interesse com maiores porcentagens era a metalmeccânica, presente em 26% dos artigos que abordam dados sobre tecnologias da I4.0 e ferramentas Lean. Da mesma forma, a área de alimentos representava 15% dos artigos, enquanto a área de eletrônica correspondia a 11%. Portanto, essas áreas foram consideradas relevantes para o tema de I4.0 e ferramentas Lean, proporcionando uma diversificação significativa para o estudo.

Além disso, cada caso possui seu contexto, o qual se torna mais facilmente visualizado ao longo da análise dos dados. Essas três áreas foram selecionadas com o propósito de aprofundar o conhecimento no universo da manufatura ao qual pertencem. Como evidenciado na Revisão Sistemática da Literatura (RSL), essas áreas destacam-se como as mais interessadas no estudo da Indústria 4.0 e Lean. Dessa forma, busca-se aumentar as oportunidades de relevância da dissertação para outras organizações de manufatura que compartilham o interesse em estudar automação e aprimorar sua maturidade em relação à Indústria 4.0.

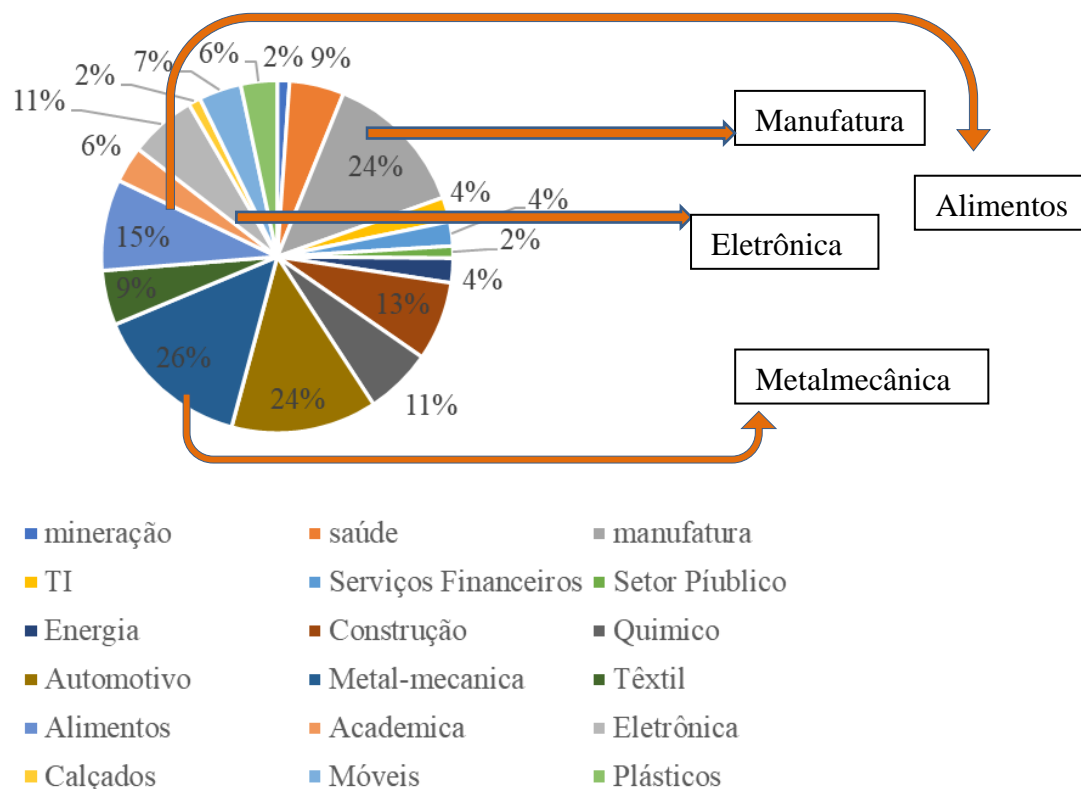


Figura 13 - Comparação setores encontrados na RSL e áreas das amostras estudadas

Fonte: Elaborado pela autora

A coleta de dados foi iniciada por meio de um questionário composto por questões de múltipla escolha e questões abertas, elaborado com o propósito de proporcionar uma visão abrangente dos dados a serem identificados. Posteriormente, buscou-se informações específicas para a pesquisa nos sites das organizações, antecedendo a fase de entrevistas. Esse procedimento tinha como objetivo esclarecer, durante as entrevistas, quaisquer dúvidas remanescentes relacionadas aos dados obtidos por meio do questionário e da pesquisa nos sites.

Assim, conduziu-se uma entrevista semiestruturada, apresentando questões pré-determinadas para direcionar a conversa e estabelecer objetivos. É relevante destacar que essas perguntas foram adaptadas conforme a dinâmica e o discurso de cada entrevistado. Os três métodos de coleta de dados mencionados - questionário, pesquisa nos sites e entrevistas - representaram as opções disponíveis e viáveis para viabilizar a triangulação dos dados.

As principais áreas de investigação foram 1) implementação e suas barreiras de tecnologias I4.0, 2) implementação de ferramentas do Lean, 3) interação das tecnologias da I4.0 com as ferramentas do Lean e, suas contribuições e ou desvantagens, 4) maturidade da implementação da I4.0. As informações coletadas foram então integradas por dados da empresa disponibilizados em seus sites, visando fins de triangulação para consistência das informações recebidas (YIN, 2015). Sendo que, todos os respondentes dispõem desde um bom conhecimento até um conhecimento profundo sobre as tecnologias da I4.0, participando da gestão da implementação da I4.0 na empresa.

Os respondentes possuíam também conhecimento profundo em relação às ferramentas do Lean Manufacturing, contribuindo para a melhor eficácia das respostas.

Essas informações colaboram com a certeza de que os dados a serem coletados serão de grande relevância, uma vez que, os integrantes que irão colaborar possuem conhecimento sobre o tema e participação da implementação das tecnologias da I4.0 e das ferramentas do Lean na empresa.

3.1.2 Descobertas e Análise de dados

3.1.2.1 Questionário do Google Forms

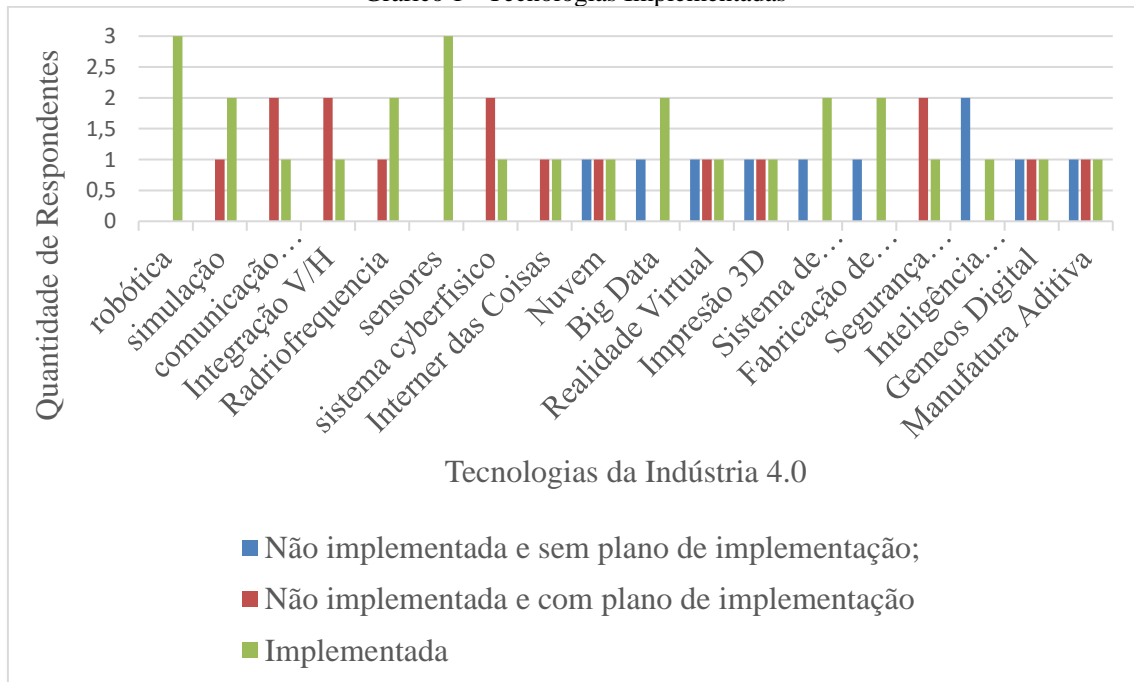
O questionário foi iniciado com o intuito de compreender a possível motivação das empresas ao implementarem a Indústria 4.0. As respostas obtidas revelaram algumas semelhanças, destacando, por exemplo:

- 1- A necessidade de aumentar a produtividade e competitividade em relação aos concorrentes;
- 2- Aumento da produtividade, segurança operacional, agilidade e confiança nos dados obtidos; e
- 3- Possibilidade de retorno financeiro, aprendizagem para o novo contexto e adequação ao mercado.

Essas respostas apontam para diversas razões pelas quais as empresas buscam melhorias por meio das tecnologias da Indústria 4.0, sendo o aumento da produtividade e a competitividade de mercado as motivações mais frequentes.

Posto isto, o gráfico 1 mostra as tecnologias já implementadas que estão em cinza, as tecnologias não implementadas e sem plano de implementação em azul e as que ainda não foram implementadas e possuem plano de implementação em vermelho.

Gráfico 1 - Tecnologias Implementadas



Fonte: Elaborado pela autora

O Gráfico 1 de barras empilhadas ilustra a quantidade de entrevistados e respondentes no eixo vertical em relação às tecnologias da Indústria 4.0 no eixo horizontal. Cada barra colorida representa as respostas dos entrevistados, seguindo a escala Likert (não implementada e sem plano de implementação, não implementada e com plano de implementação e implementada). A altura das barras varia de 1 a 3, indicando a quantidade de respondentes que escolheram cada opção.

Dois tecnologias se destacam, já implementadas nas três empresas estudadas: robótica e sensores, contribuindo significativamente com 56% e 35%, respectivamente, das tecnologias identificadas na revisão sistemática anterior. Outras tecnologias, como big data, simulação, radiofrequência, sistema de rastreamento e fabricação inteligente, foram implementadas por duas das empresas estudadas. Vale destacar que simulação e radiofrequência têm planos de implementação na terceira empresa.

Ao comparar esses dados com a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), observamos que big data está presente em 61% dos artigos, radiofrequência em 48%, sistema de rastreamento em apenas 9%, e fabricação inteligente em 20%, conforme detalhado na Tabela 2. Quanto à Integração Vertical/Horizontal, Comunicação Máquina a Máquina e Segurança Cibernética, estas estão em fase de planejamento em duas

empresas e implementadas em apenas uma, com porcentagens correspondentes de 22%, 30% e apenas 11%, respectivamente.

Outras tecnologias apresentam variações consideráveis entre implementadas, com plano de implementação ou sequer com plano definido. Ao estudar três empresas de setores distintos, é possível perceber que as tecnologias emergem de maneira específica para cada organização. A comparação do nível mundial de implementação das tecnologias, conforme identificado na RSL, com o das empresas estudadas nesta pesquisa, permite contrastar as práticas das empresas com o que é destacado na literatura. Chama a atenção o fato de que algumas tecnologias amplamente discutidas em artigos, como a Internet das Coisas, estão implementadas em apenas uma empresa e em fase de implementação em outra. A big data, mencionada em 61% dos artigos, é utilizada por duas empresas de grande porte. Além disso, a tecnologia de robôs, com alta incidência em artigos, está implementada nas três empresas, evidenciando sua relevância. A simulação, também amplamente abordada, está implementada em duas empresas e em planejamento na terceira.

Tabela 2- Comparação da porcentagem das tecnologias encontradas nos artigos e implementadas nas empresas estudadas

Tecnologia	Sistema Cyberfísico	Internet das Coisas	Big Data	Nuvem	Realidade Virtual	Robótica	Impressão 3D	Simulação	Integração Vertical/Horizontal	Comunicação Máquina a Máquina	Radiofrequência	Sensores	Sistema de Rastreamento	Fabricação Inteligente	Segurança Cibernética	Inteligência Artificial	Gêmeos Digital	Manufatura aditiva
Porcentagem de artigos que incluem a tecnologia	57%	83%	61%	78%	48%	56%	41%	52%	22%	30%	48%	35%	9%	20%	11%	24%	15%	28%
Porcentagem de empresas entrevistadas que já implementaram as tecnologias	33%	33%	66%	33%	33%	100%	33%	66%	33%	33%	66%	100%	66%	66%	33%	33%	33%	33%

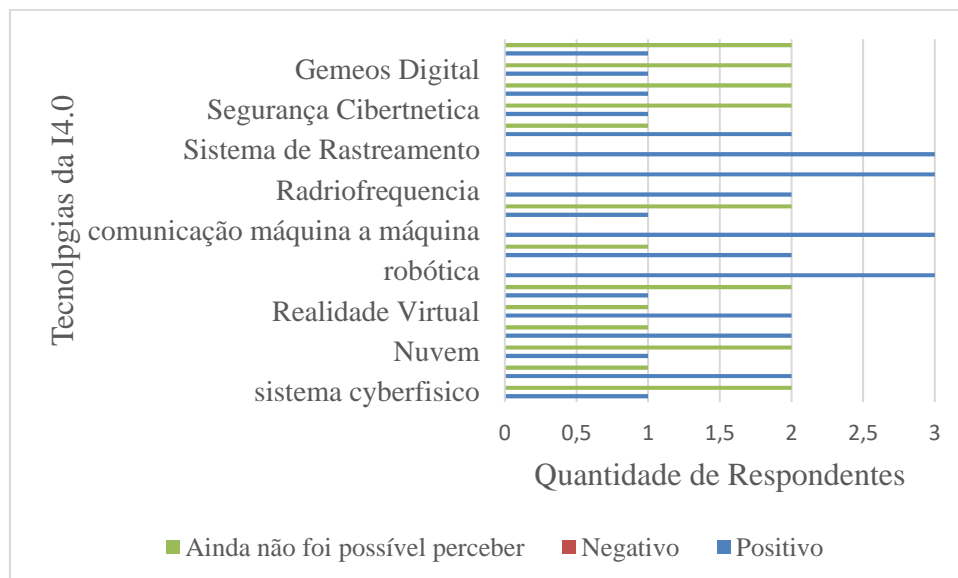
Fonte: Elaborado pela autora

Visto isso, esses exemplos demonstram a relevância do seu uso nas empresas não apenas na literatura, mas também na prática. Além disso, na Tabela 2, temos a teoria e a prática elucidadas conjuntamente. Para que ocorra uma comparação dos resultados da RSL e do estudo de caso, as tecnologias de Impressão 3D, Integração Vertical/Horizontal, Inteligência Artificial e Manufatura Aditiva possuem o seu resultado em porcentagens das empresas que já implementaram as tecnologias (parte inferior) bem próximo e parecido com os artigos que incluem as tecnologias (parte superior).

Apenas o uso da nuvem é amplamente citado nos artigos, mas, no estudo de caso, observa-se que apenas uma empresa efetivamente utiliza essa tecnologia. Uma segunda empresa possui planos de implementação, enquanto uma terceira ainda não elaborou planos para tal. Importante salientar que essa discrepância não sugere uma percepção de inutilidade da tecnologia, mas sim a falta de implementação nas empresas analisadas, seja por falta de utilização efetiva ou por limitações financeiras para a sua execução.

Após descobrir as tecnologias implementadas, os entrevistados foram questionados em relação à percepção das tecnologias em relação ao desempenho operacional da organização, como visto no Gráfico 2 de barras empilhadas. Não houve nenhuma influência negativa das tecnologias da I4.0 no desempenho operacional da organização. Entretanto, algumas empresas ainda não conseguiram perceber a influência das tecnologias da I4.0 sobre o desempenho operacional da organização. As tecnologias com impacto mais positivo, na visão dos entrevistados, foram robótica, comunicação máquina a máquina, sensores e sistema de rastreamento. Em seguida, com uma percepção um pouco menor, estão internet das coisas, big data, realidade virtual, simulação, radiofrequência e fabricação de segurança. As outras tiveram uma percepção pequena ou ainda não foi possível perceber a influência.

Gráfico 2-Percepção das tecnologias sob o desempenho operacional



Fonte: Elaborado pela autora

Por meio da pergunta anterior, foi solicitado aos respondentes que discorressem sobre exemplos da influência positiva ou negativa das tecnologias da Indústria 4.0 sob

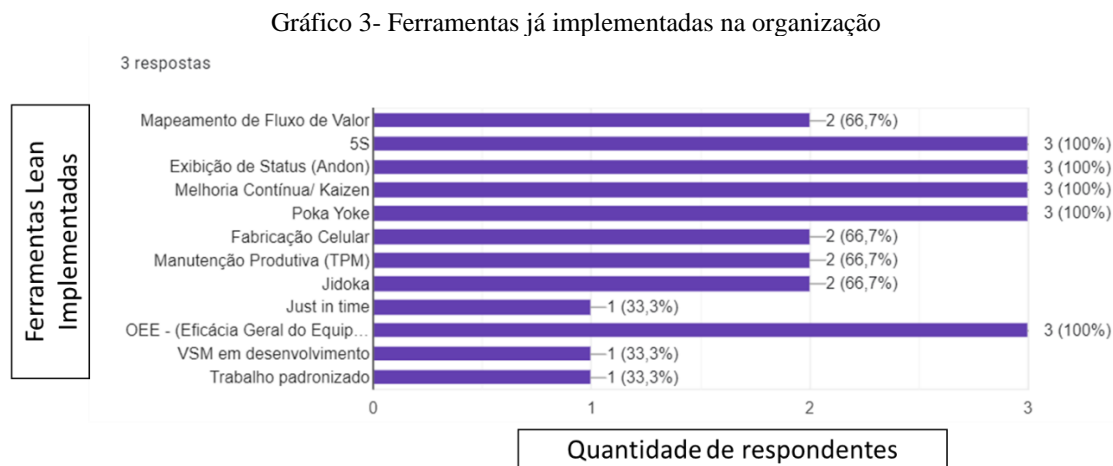
o desempenho operacional em sua organização na empresa caso tivessem. A empresa de alimentos disse que de maneira positiva, a obtenção de dados operacionais confiáveis e ações assertivas colaboraram com o desempenho operacional, já a empresa de metalmecânica relatou um ponto negativo, referente as partes do processo não estarem preparadas para I4.0. Já a empresa de eletrônicos citou um pouco mais de exemplos, relatando que *“A robótica foi extremamente relevante nos casos de problemas de produtividade e ergonomia. A simulação foi extremamente importante para aumentar a confiabilidade dos processos e aumento da produtividade do setor de engenharia. Os sensores e sistemas de radiofrequência auxiliaram nos processos de rastreabilidade e acompanhamento da produção em processos, e acompanhamento da manutenção, reduzindo tempos e possibilitando a manutenção preditiva. A comunicação máquina permitiu o acompanhamento em tempo real da produção aumentando o tempo de resposta do planejamento X vendas, melhorando a resposta ao mercado e reduzindo os atrasos nas entregas.”*

Sobre as barreiras de implementação da I4.0, ambos os respondentes apontaram logo no início da resposta uma resistência cultural, além da questão financeira devido ao alto custo de determinadas tecnologias e a falta de conhecimento sobre o assunto. Apenas um deles apontou a questão de coleta de dados como uma barreira, por inicialmente ser algo “irrelevante” para a empresa.

Em seguida iniciou-se uma parte do questionário mais ligada ao Lean, em que primeiro eles foram questionados o quanto a implementação das ferramentas do *Lean Manufacturing* já estava bem consolidada antes de iniciar a implementação das tecnologias da I4.0 e apenas um respondente alegou que estava começando a ser implementada.

Em relação às ferramentas já consolidadas nas organizações, os participantes votaram nas ferramentas que já estão implementadas em suas empresas. O Google Forms gerou um gráfico representando o número de votos que cada ferramenta obteve. As ferramentas que alcançaram o maior índice de implementação nas empresas estudadas, com 100% dos respondentes indicando que estão implementadas, são: 5S, Andon, Kaizen, Poka Yoke e OEE, presentes nas três empresas analisadas. Em seguida, destacam-se o Fluxo de Valor, Fabricação Celular, TPM e Jidoka, implementadas em pelo menos duas das três empresas. Por último, as ferramentas Just in Time, VSM e Trabalho

Padronizado estavam implementadas em apenas uma das três empresas, conforme evidenciado no Gráfico 3.



Fonte: Resumo adaptado do Questionário do Google Forms

Comparando com o estudo teórico, temos de forma similar o uso da ferramenta Kaizen, que aparece em 69% dos artigos e está em uso nas três empresas do estudo. Em seguida, a ferramenta 5S, com 43%, está implementada em todas as empresas. Já a ferramenta OEE, implementada em todas as empresas e comentada posteriormente em outras fases do estudo, é vista em apenas 13% dos artigos.

A ferramenta mais citada nos artigos é o VSM, que, no caso aqui, está em uso em apenas uma empresa. Da mesma forma, a ferramenta Just in Time, vista em 50% dos artigos, também se encontra em uso em apenas uma empresa. O Poka Yoke ainda tem uma situação com um teor de diferença menor, presente em 41% dos artigos e em todas as empresas.

Em seguida eles foram então questionados o quanto a implementação das tecnologias da I4.0 tiveram o auxílio das ferramentas do *Lean*. Dois respondentes selecionaram a opção de que foi possível perceber sim que as ferramentas do Lean já bem consolidadas na organização podem auxiliar na estruturação ao implementar as tecnologias da Indústria 4.0 e apenas um escolheu que algumas ferramentas do Lean auxiliaram na implementação de algumas tecnologias da I4.0.

Em seguida, com o interesse em investigar as possíveis interações entre as tecnologias da I4.0 e as ferramentas Lean pediu-se que os entrevistados associassem as

tecnologias com as respectivas ferramentas Lean conforme as combinações que eles acreditam serem possíveis, conforme Quadro 5.

Quadro 5-Combinações de tecnologias e ferramentas Lean possíveis

Empresas	Tecnologias	Ferramentas Lean
Empresa 2	Sistema Cyberfísico	Fluxo de valor, 5S, TPM,
Empresa 1	Internet das coisas	TPM
Empresa 2	Internet das coisas	Fluxo de valor, 5S, Fabricação Celular, TPM, TQM
Empresa 3	Internet das Coisas	OEE
Empresa 2	Nuvem	5S, TPM
Empresa 3	Nuvem	Just in time, OEE
Empresa 1	Big Data	Kaizen
Empresa 2	Big Data	Fluxo de Valor, 5S, TPM
Empresa 3	Big Data	Heijunka
Empresa 2	Realidade Virtual	Fluxo de valor, 5S, Andon, Poka Yoke, Fabricação Celular, TPM, Jidoka, Heijunka, OEE.
Empresa 3	Realidade Virtual	Poka Yoke
Empresa 2	Impressão 3D	5S, TPM, PDCA
Empresa 1	Robótica	Fluxo de Valor, Andon, Kaizen, Fabricação Celular, TPM, OEE.
Empresa 2	Robótica	Fluxo de Valor, 5S, Andon, POka Yoke, Fabricação Celular, TPM, Jidoka, TQM, Just in time, OEE.
Empresa 3	Robótica	Poka Yoke
Empresa 1	Simulação	Kaizen, TPM, Jidoka.
Empresa 2	Simulação	Fluxo de valor, 5S, Kaizen, OEE.
Empresa 1	Integração	TPM
Empresa 2	Integração Vertical/Horizontal	5S, Poka Yoke, Fabricação Celular, TPM, TQM, OEE.
Empresa 1	Comunicação Máquina a máquina	Fluxo de Valor, Kaizen, TPM, Jidoka.
Empresa 2	Comunicação Máquina a máquina	Fluxo de Valor, 5S, Andon, Poka Yoke, Fabricação celular, TPM, PDCA, TQM, Heijunka, Just in time e OEE
Empresa 2	Radiofrequência	Fluxo de Valor, 5S, Andon, Kaizen, Poka Yoke, Fabricação celular, Jidoka, Heijunka, Just in time e OEE.
Empresa 1	Sensores	Fluxo de Valor, Andon, Kaizen, TPM.
Empresa 2	Sensores	Fluxo de Valor, 5S, Andon, Poka Yoke, Fabricação celular, TPM, Heijunka, Just in time e OEE.
Empresa 1	Sistema de Rastreamento	TPM, Jidoka.
Empresa 2	Sistema de Rastreamento	Fluxo de Valor, 5S, Andon, Poka Yoke, Fabricação Celular, Jidoka, Heijunka, Just in time e OEE.
Empresa 3	Sistema de Rastreamento	Poka Yoke
Empresa 1	Fabricação de Segurança	TPM
Empresa 2	Fabricação de Segurança	Kaizen, TQM,
Empresa 2	Segurança Cibernética	Kaizen, PDCA
Empresa 2	Inteligência Artificial	Kaizen, PDCA
Empresa 2	Gêmeos Digital	Fluxo de Valor, 5S, Andon, Poka Yoke, Fabricação celular, PDCA, Just in time e OEE
Empresa 1	Manufatura Aditiva	Fluxo de Valor, Andon, Kaizen, TPM, Jidoka
Empresa 2	Manufatura Aditiva	Fluxo de Valor, 5S, Andon, Poka Yoke, Fabricação celular, PDCA, Just in time e OEE

Fonte: Elaborado pelo autor por meio do resumo do questionário do Google Forms

Dessa forma, é possível perceber alguns exemplos de integrações entre as tecnologias e as ferramentas segundo opinião dos gestores entrevistados, demonstrando realmente a possibilidade de integrar ambos e combiná-los para que haja colaboração entre as ferramentas e as tecnologias. O interessante ao observar as respostas ao questionário, além da grande gama de combinações é visualizar que as empresas têm perspectivas diferentes sob as integrações, algumas ferramentas são vistas pelos gestores como possíveis de se combinar com a mesma tecnologia, outras não, levantando novas combinações. Isto colabora com a interpretação de que cada empresa exige o uso de suas tecnologias específicas e o mesmo para suas combinações.

Como base a questão anterior e a experiência dos respondentes, foi questionado os resultados positivos e/ou negativos gerados pelas combinações das tecnologias da I4.0 com as ferramentas Lean na empresa e obteve-se as seguintes respostas:

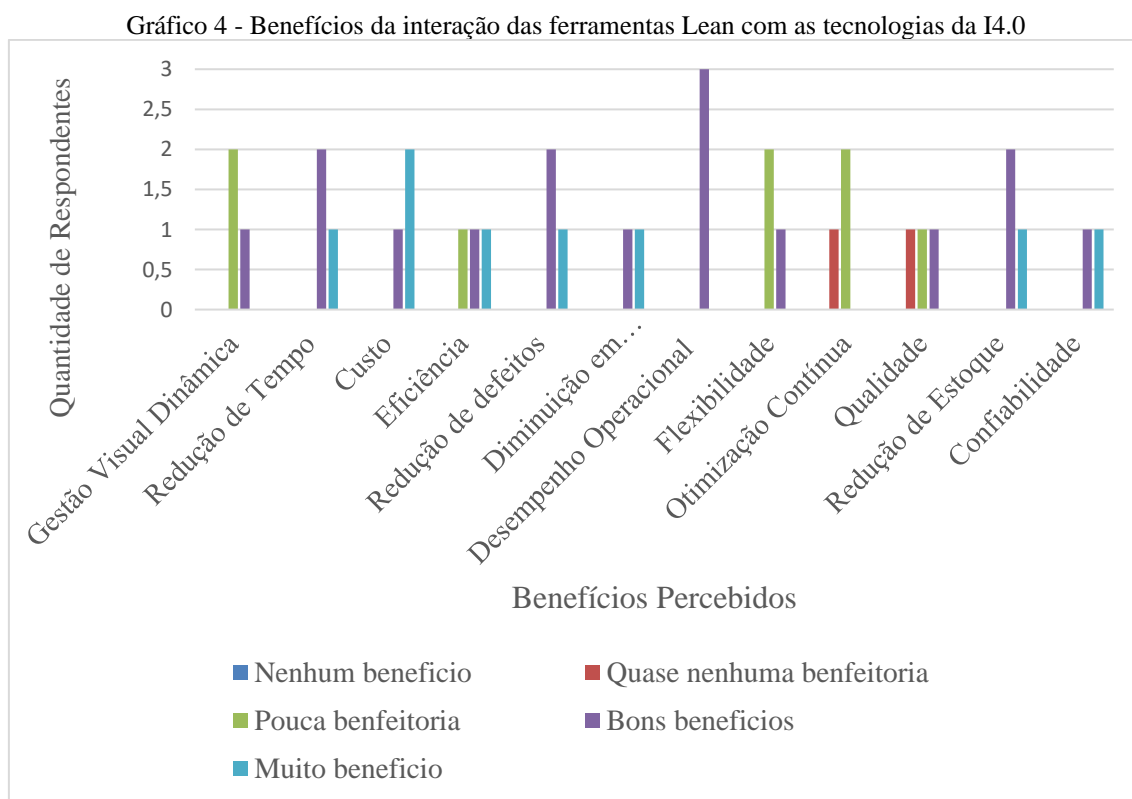
- 1) *“Redução de falhas e melhoria na eficiência operacional”.*
- 2) *“Identificamos que a base para implementação da indústria 4.0 são processos organizados, padronizados, e estáveis, ou seja, a base do Lean, como, 5S e TPM, que foram a base para implementação das tecnologias da I4.0, as demais tecnologias adotadas foram reflexo de necessidades pontuais ou pontos determinados como estratégicos para atendimento das demandas da diretoria”.*
- 3) *“Quando o processo está já enxuto, com grande percentual de agregação de valor, a implantação da Indústria 4.0 ajudou sim, mas desde que quando combinada com ferramentas Lean. Sem o Lean, antes, durante ou depois, é quase impossível ter resultados satisfatórios. Resultados: melhorará da qualidade, diminuição de takt, melhora da entrega. Melhor produtividade”.*

As respostas afirmam o que foi considerado na RSL e respondem principalmente à questão objetivo da pesquisa, verificando a ausência de resultados negativos até aqui e os resultados obtidos.

Em seguida, com o objetivo de identificar os benefícios decorrentes da interação entre as ferramentas do Lean e as tecnologias da I4.0, solicitou-se aos entrevistados que atribuíssem uma nota de 1 a 5. A escala utilizada foi a seguinte: 1 para nenhum benefício, 2 para quase nenhuma benfeitoria, 3 para pouca benfeitoria, 4 para bons benefícios e 5 para muito benéfico. Com base nessas avaliações, foi gerado o Gráfico 5 de barras empilhadas, o qual ilustra a distribuição dos benefícios conforme a quantidade de

entrevistadores (de 1 a 3). Cada barra empilhada representa um benefício específico, sendo que a altura total da barra reflete o número total de entrevistadores.

O propósito do gráfico é proporcionar uma visão clara da distribuição das respostas dos entrevistadores em relação a cada benefício. Essa representação facilita a análise das tendências e das diferenças de percepção entre os participantes do estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do resumo do questionário do Google Forms

A qualidade recebeu um voto de cada empresa, distribuídos entre "quase nenhuma benfeitoria", "pouca benfeitoria" e "bons benefícios". Isso indica que, na perspectiva dos entrevistados nesta pesquisa, as tecnologias da I4.0 não têm uma influência significativa na qualidade. Na RSL, entretanto, a qualidade foi considerada em 57% dos artigos.

Contrariamente, a otimização contínua, que teve 28% de menções na RSL, também não foi percebida como benéfica pelos entrevistados, já que duas empresas votaram como "pouca benfeitoria" e uma como "quase nenhuma". Em relação à flexibilidade, duas empresas consideraram ter "pouca benfeitoria" e uma "bons benefícios", enquanto na RSL, 52% dos artigos concordaram com essa última visão. A gestão visual dinâmica, mencionada em 17% dos artigos da RSL, também teve opiniões divergentes nos votos dos respondentes.

Sobre a eficiência, houve divergência entre os três respondentes, com um selecionando "poucas benfeitorias", outro "bons benefícios" e o terceiro "muito benefício". Na RSL, a eficiência é destacada em 39% dos artigos, exemplificando o suporte à tomada de decisões e cooperação de equipe para gerenciar desafios situacionais em tempo quase real (JAVAID et al., 2022).

Confiabilidade e diminuição em maquinário utilizado receberam votos semelhantes, com um para "muito benefício" e outro para "bons benefícios". Na literatura, esses pontos foram mencionados em 19% e 17%, respectivamente. Redução de defeitos, redução de estoque e redução do tempo também tiveram votos semelhantes na pesquisa, com um para "muito benefício" e dois para "bons benefícios", refletindo os dados da literatura, que indicam 52%, 37% e 54% de apoio, respectivamente.

O custo recebeu dois votos para "muito benefício" e um para "bons benefícios". Apesar de sua considerável presença na literatura, com 44%, na nossa pesquisa o custo teve mais votos como um possível benefício da relação entre as ferramentas e a tecnologia. Por fim, com três votos para "bons benefícios", o desempenho operacional, que na literatura representa apenas 37%. Assim, alguns benefícios observados nesta pesquisa estão alinhados com as informações da revisão sistemática.

Redução de defeitos, redução de estoque e redução do tempo também tiveram os mesmos votos na pesquisa, sendo um voto para muito benefício e dois votos para bons benefícios, na literatura o primeiro apareceu em 52%, o segundo 37% e o último com 54% dos artigos. Analisando foi possível perceber que a redução de defeitos e redução do tempo realmente vem a ser maior devido a facilidade e acesso aos dados, vindo a evitar erros, com uma produtividade maior reduz-se o tempo e com o controle de dados mais rápido e acessível em alguns casos torna possível a redução de estoques por meio do controle maior de compras e vendas.

Continuando a pesquisa foi surpreendente ver que as três empresas relataram que de 1 a 5, o índice que eles acreditam que as máquinas e sistemas podem ser controlados por TI é 4, o que já traz um bom indicativo em relação a maturidade da I4.0 das empresas.

Outra questão que trouxe respostas positivas para a maturidade da I4.0 foi em relação aos dados poderem ser acessados em qualquer lugar no mundo em tempo real pelos usuários dos dados, tendo 66,7% das respostas afirmativas e apenas uma empresa mundialmente menor relatou que os dados só podem ser acessados, mas não em tempo real.

Ao discorrerem sobre o armazenamento de dados provenientes das máquinas, gerados durante a produção ou pelos processos, como o tempo que leva para um produto passar de uma esteira a outra, a quantidade de produtos manufaturados por máquina, o tamanho das peças e outros elementos do processo, os participantes destacaram a relevância dessa informação.

A análise das respostas obtidas por meio do questionário revelou que, atualmente, apenas uma empresa possui a capacidade de coletar dados abrangentes de todas as máquinas, da produção em sua totalidade e dos processos na fábrica. Por outro lado, as outras duas empresas restringem sua coleta aos dados das máquinas e à produção chave presentes na fábrica.

Quanto à utilização desses dados, duas das três empresas afirmaram que os coletam e analisam de maneira abrangente, visando aprimorar todos os processos da empresa. Essas duas organizações também empregam técnicas de Big Data em alguns dados específicos para prevenir falhas em processos mais críticos. A terceira empresa, por sua vez, acessa apenas parte dos dados e os analisa para realizar melhorias pontuais, indicando que ainda não consegue usufruir plenamente de todas as informações coletadas.

Já em questão a comunicação dos dados entre si, apenas uma empresa mensurou de 1 a 5, como 4 a capacidade em não precisar colocar os dados manualmente, já as outras duas empresas classificaram como 2, ou seja, a necessidade de alimentar os dados na máquina ainda é alta.

Por fim, com o objetivo de conhecer melhor a respeito da maturidade I4.0 de cada empresa questionamos sobre cada organização já deter indicadores que possam mensurar a eficiência da implementação da I4.0 e apenas uma empresa citou que foram criados indicadores próprios seguindo as diretrizes da diretoria para medir o nível de maturidade de cada célula de produção analisada, outra relatou que estão em fase de desenvolvimento dos indicadores.

Para a última questão foi utilizados os seis graus de maturidade apresentados pela (VDI-Brasil) - Associação de engenheiros Brasil-Alemanha, que se reúnem por meio de atividades e iniciativas que promovem ações e debates sobre temas inovadores e técnicos entre os dois países, como forma de investigar a maturidade da I4.0 de cada empresa, utilizando de um meio já testado e viabilizado. Sendo que o diretor executivo da Associação, Johannes Klingberg, apresenta seis graus de maturidade da Indústria 4.0, conforme a Figura 15 e o que diferencia as fases 1 e 2 – mais focadas em digitalização –

das demais, são, os conceitos de “tomada de decisões baseadas em dados” (sistemas de informações) e de “sombra digital em tempo real” (JOHANNES KLINGBERB et al., 2020).



Figura 14 – Seis níveis de maturidade da Indústria 4.0.

Fonte: VDI-Brasil (Disponível em: <<https://www.vdibrasil.com/area-estrutural-de-sistemas-de-informacao-e-o-tema-do-2o-webinar-da-serie-passo-a-passo-a-maturidade-da-industria-4-0-na-pratica/>> Acessado em 24 de nov. de 2023)

A transformação do nível 1 para o nível 6 visto na Figura 15 acontece de maneira gradual na indústria, priorizando os processos que trazem mais valor, conforme demanda da organização. Sendo que, o objetivo da adaptabilidade é alcançado quando uma empresa é capaz de usar os dados da sombra digital para tomar decisões sozinhas ou seja, sem ajuda humana, e que tenham os melhores resultados possíveis, de forma mais ágil e assim conseguir realizar essas medidas correspondentes automaticamente, ou seja, sem esforço humano. De acordo com o diretor executivo da Associação VDI:

“Criar a sombra digital é a grande tarefa da área de sistemas de informação. Para Ari Costa, trata-se do mundo físico no mundo digital. “Um modelo virtual não é uma sombra digital, passa a ser uma sombra quando acontece a sincronicidade entre o físico e o digital. A Alemanha já está nesse estágio e pensando em todas as áreas organizacionais”, explicou o professor. “Nossa sombra está sempre ligada à gente e reproduz todo o nosso movimento. No modelo é possível simular, mas ele não acontece na realidade. E a

sombra é o real em sua simplicidade – 2D”, complementou Borges” (JOHANNES KLINGBERG et al., 2020).

Os respondentes do questionário classificaram o nível de maturidade que esses consideravam válido para suas empresas após observarem e considerarem a Figura 15, duas das empresas consideram-se estando no nível 3 em visibilidade e uma das empresas se considera já no nível 5 em previsibilidade.

Temos então 66,7% ou duas empresas com o nível de maturidade em Visibilidade, nível em que é capturado dados em tempo real de toda a produção, criando um modelo digital de fábricas atualizado em todos os momentos, o qual é utilizado para tomada de decisões em todo o tempo com dados em tempo real, e 33,3% ou uma empresa apenas como o nível de maturidade em Previsibilidade, que envolve a projeção da sombra digital no futuro e venham a ser avaliados, dessa maneira, as empresas são capazes de antecipar movimentos futuros para que possam tomar decisões e implementar as medidas adequadas em tempo útil antes que ocorra.

3.1.2.2 Dados disponíveis nos sites

No site da empresa de alimentos, identificou-se uma notícia relacionada a um prêmio concedido pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos e Centro de Tecnologia de Embalagem. A empresa foi reconhecida por incluir identificações por meio de QRCode e Braille em suas embalagens, proporcionando maior rastreabilidade do produto via QRCode e maior acessibilidade por meio da identificação em Braille.

Além desse reconhecimento, outra distinção relacionada às suas embalagens e tecnologia é mencionada no site. O prêmio destaca o caráter inovador e sustentável do produto utilizado na fabricação da embalagem. Na narrativa histórica da empresa, é ressaltado o investimento em estrutura, tecnologia, recursos humanos e a aplicação de conceitos modernos de nutrição para inovar no desenvolvimento de seus produtos, tornando-os líderes no segmento no país.

Além do compromisso com investimentos em tecnologias, a empresa também destaca a importância atribuída à garantia da qualidade. Ela possui diversos certificados que atestam a segurança e qualidade dos alimentos por eles produzidos.

Em relação à empresa metalúrgica no site da planta brasileira em que foi realizada a pesquisa não foi encontrado informações sobre o tema e nem outras notícias relevantes da empresa.

Informações referentes à Indústria 4.0 e todas as notícias da empresa são publicadas exclusivamente no site com plataforma europeia. No site brasileiro, encontram-se apenas detalhes sobre como a empresa chegou e foi implementada no país. Destaca-se, no entanto, um ponto interessante relacionado à Indústria 4.0: o *Online Support*.

Percebe-se que, por meio de e-mail e senha, o cliente tem acesso online a diversos serviços, incluindo Engenharia e Seleção, consulta e encomenda, entrega e fluxo de material, colocação em operação e até mesmo manutenção dos produtos. O *Online Support* possibilita ao cliente visualizar falhas, processos e realizar seleção de acionamentos, entre outros recursos.

Também foi possível visualizar algumas propagandas, como “a nossa tecnologia de acionamentos movimentou o mundo”, mas não mais que isso. Já no site europeu, é possível encontrar muitos dados e muita informação de Indústria 4.0. Isso ocorre porque a empresa na Europa é uma das pioneiras no que diz respeito à Indústria 4.0 e possui muita informação relacionada ao tema.

Já em relação à empresa de eletrodomésticos, foi possível descobrir que ela possui uma planta com a implementação da Indústria 4.0. Todas as linhas de produção da unidade foram conectadas, possibilitando o acesso a dados em tempo real para a tomada de decisão. Além disso, a empresa demonstra uma grande preocupação com a Gestão Lean, visto que adota os métodos Lean em todas as suas plantas.

Em um relato sobre a implementação apresentado no site da empresa, os responsáveis afirmam: “Nosso objetivo principal sempre foi garantir alta disponibilidade de informações na fábrica como um todo. Ou seja, buscamos trazer mais tecnologia, equipamentos e conexões com a meta desafiadora de evitar falhas em uma fábrica que opera 24 por 7”. Para atingir esse propósito, foi necessário assegurar redundância e alta disponibilidade dos equipamentos.

Um ponto desafiador e digno de destaque foi a construção de um segundo data center dentro da fábrica. Esse novo centro foi projetado com piso elevado, sistema de combate a incêndio e todas as ferramentas necessárias. Além disso, enfrentou-se a complexidade de incorporar e conectar novos dispositivos na linha de produção.

Essa significativa mudança, realizada em uma das fábricas mais automatizadas da empresa, teve seu início em 2018. Já em 2019, cerca de 95% do escopo previamente definido havia sido cumprido. No entanto, mesmo nessa fase avançada, os relatos da época, fornecidos em uma entrevista veiculada em um noticiário do site da empresa, indicavam que ainda havia muito a definir e estudar.

Outro relato destacou o ganho de produtividade nesse contexto específico. No entanto, vale ressaltar que houve uma tentativa sem sucesso de replicar o mesmo modelo em outra fábrica localizada fora do país.

Na visão de um dos representantes da empresa a indústria 4.0 aumenta a velocidade de resposta a qualquer variação de mercado, podendo mensurar a demanda de forma online, possibilitando que o gerente da planta consiga visualizar rapidamente o que está planejado para a próxima hora, o dia todo, o mês e o ano tornando mais fácil de reagir às demandas do mercado. Além de relatar que com automatização, mais visibilidade, dashboards, KPIs e performance ampliada, diminuimos o custo de produção e aumentamos a produtividade. Hoje percebemos um menor custo agregado no produto e maior flexibilidade e velocidade na entrega do que foi planejado.

3.1.2.3 Análise das entrevistas

O primeiro entrevistado foi da área alimentícia e mostra em seu relato sua percepção em relação a impossibilidade de se trabalhar bem ao adicionar um robô em um processo bagunçado, pois, estariam automatizando uma bagunça. Sem devidos processos estabelecidos. Para este, mais importante que adicionar um robô, é estabelecer uma cultura de inovação, em que os colaboradores são incentivados a buscar soluções disruptivas e a experimentar novas tecnologias.

Relatou também sobre o uso de sensores e os benefícios que esses trazem para a empresa, sendo possível monitorar e medir parâmetros como velocidade, temperatura, pressão, qualidade, entre outros aspectos relevantes para o processo. Essas informações ajudam a identificar gargalos, desperdícios, falhas e áreas que precisam de melhorias.

Em relação aos índices utilizados para quantificar melhorias dos processos de implementação das tecnologias da I4,0, o entrevistado relatou a necessidade que a empresa visualizou em fazer uso do índice de OEE. E ressaltou que a empresa ainda tem um caminho a ser percorrido para automatizar a fábrica e que é importante destacar que

a implementação da I4.0 deve ser um processo gradual, levando em consideração as características e necessidades específicas de cada empresa. Portanto, é necessário um planejamento cuidadoso e suporte adequado para garantir o sucesso nessa jornada.

Para finalizar, foi perguntado, se antes da pesquisa deste trabalho, o entrevistado já havia percebido alguma ligação do Lean com a I4.0, que, respondeu que sim, por trabalhar na área de melhoria, e que, o maior desafio não é o investimento ou dificuldades no entendimento das ferramentas e tecnologias, mas em seu caso está sendo a questão cultural tanto da maioria dos colaboradores quanto da alta direção.

O segundo respondente foi da área de metalmecânica e relatou que a empresa já possuía o Lean muito bem estruturado, todas ferramentas bem estabelecidas, como, 5s, padronização, e que de dois a três anos para cá que começou a falar sobre digitalização.

Assim, ele e mais algumas pessoas da empresa começaram a participar de palestras sobre I4.0 e buscar conhecimentos sobre o tema da automatização, e um relato interessante foi que, nas palestras sempre era dito que o Lean era a base para I4.0, e que as empresas que não tinham o Lean, deveriam correr atrás para poder implementá-lo antes de buscar a automatização. Sendo assim, nesse caso em específico, a empresa já se tinha muito bem definido a visão de que o Lean é um pilar importante para a Indústria 4.0.

Após a busca por conhecimento sobre o tema, analisaram onde realmente havia um gap ou gargalo que pudesse ser solucionado por meio de uma automatização, por exemplo, o problema de lead time e assim em que agregou um robô para aumentar a produtividade, ou seja, os processos que foram adicionadas tecnologias, sabia-se que era realmente necessário.

Um exemplo de implementação de tecnologias de sucesso que foi relato, foi o uso de RFI, para monitorar carga da estufa, que antes da implementação não tinha o conhecimento sobre o horário que a carga entrava ou saia, ou até mesmo qual carga entrava na estufa, pois é uma estufa muito grande e de difícil administração, então, com o uso do RFI foi possível controlar, porém com várias barreiras, pois, o *Payback* foi alto e não foi possível colocar junto ao SAP, tendo que interligar com outras tecnologias para depois colocar no SAP e este foi a única forma e local da empresa que conseguiu implementar o RFI, pois em outros processos e etapas, o custo para implementação seria muito alto, relatando que uma pistola simples de leitura da *tag*

que seria utilizada na fábrica para leitura de cada produto, custaria em torno de 30 mil reais.

Ele relatou ter tentado implementar várias tecnologias, porém muitas delas, não obteve sucesso, um exemplo citado foi no setor de projeto de redutor, em que, orçaram um óculos virtual, mas que não foi aprovado na engenharia, pois o objetivo no caso dessa empresa, é apenas produzir um bom redutor e para isto, apenas o *solido words* já se encarrega da atividade, o óculos seria apenas em casos de visitas a fábrica, poderem visualizar o produto em 3D e este não seria o foco da empresa, justificando assim a não aceitação da tecnologia e seu *Payback*.

Questionamos sobre a empresa Europeia, já que visualizamos em seu site, muita informações referentes a I4.0, e foi nos relatado que existe muita troca de informações e experiências, porém muitas vezes experiências que dão certo lá, infelizmente não são viabilizadas no Brasil, por exemplo, uma máquina que já existe fora e foi tanto colocar ela em uma linha brasileira, porém não foi aceita devido *Payback* longo não justificar a compra da máquina, a princípio quando se pensou na implementação, acreditava-se que poderia ser algo excelente, mas quando foi ver no papel, infelizmente não seria possível ter a máquina no Brasil.

Outra questão que foi apontada como muito diferente das plantas da Europa, é em relação a quantidade de linhas de produtos, na planta Brasileira, são produzidos inúmeros tipos de produtos, o que impossibilita a padronização e dificulta a automatização, já na Europa, tem-se apenas 3 linhas de produtos facilitando a padronização da linha. Dessa forma, a opção na planta estudada, foi criar uma célula que possui uma maior produção de apenas uma linha de produtos e está se tornou exemplo em questão de I4.0 dentro da empresa. Na opinião do entrevistado, o critério de flexibilidade no Brasil é muito grande e consta como um ponto positivo, já que fabrica todos os tipos de redutores, mas a I4.0 fica um pouco reduzida a ser implementada.

Assim sendo então, os índices utilizados pela empresa para obter um modelo de maturidade, foram criados por eles e analisa por célula e não a fábrica ao todo, por perceber no plano de implementação que o investimento das tecnologias é muito alto, tendo um *Payback* muito demorado, dando 3 a 4 anos, sendo que lá eles trabalham por com o *Payback* em um ano. Então a melhor forma de visualizar a I.40 vista por eles foi

trabalhar por células, estudando a realidade de cada célula e medindo índices de cada uma separadamente.

Por último o entrevistado opina sobre os pilares da I4.0, reportando a dificuldade em se apoiar e implementar tecnologias de todos os pilares, em que seu ponto de vista, não deveria se exigir o uso de todos os pilares, pois em alguns casos certos pilares não possuem utilidade real na prática, não sendo implementado.

Em entrevista com a terceira respondente, ela iniciou citando dois exemplos. O primeiro refere-se a uma fábrica com vários robôs e altamente automatizada, que enfrentava problemas nos processos de fabricação devido à falta de preparação. Nesse cenário, a linha com robôs tornou-se um gargalo na produção, pois faltava organização para realizar o setup de maneira eficiente e produtiva.

O segundo exemplo mencionado pela entrevistada trata-se de um processo com sensores, que contribuem para a coleta de dados e facilitam o controle e análise dessas informações. No entanto, há um alto custo agregado, com um *Payback* de longa duração. Às vezes, esse investimento não compensa, uma vez que, mesmo sem a tecnologia, ainda é possível realizar o controle e a análise dos dados. Apesar de não ser tão bem controlado como com a automatização, é uma possibilidade viável.

A entrevistada destacou que, mesmo com um maior conhecimento sobre a Indústria 4.0, os altos custos de *Payback* e investimentos demandam um estudo aprofundado. É necessário compreender o que está intrínseco no processo e a real necessidade de implementar a Indústria 4.0 e a automatização. Isso evita, ao final, um processo desorganizado que não funcione, ou que, como no exemplo citado, se torne um gargalo na fábrica, comprometendo a eficácia da linha de produção.

Conforme conversamos, foi relato outro exemplo, sobre a implementação de 7 AGVs no chão de fábrica, segundo a entrevistada, o único ganho foi no Lean, pois no processo em si, não ocorreram grandes mudanças, mas que auxiliou na percepção da importância do Lean para I4.0, uma vez que, foi relatado que sem o Lean não seria possível implementar os 7 AGVs na planta.

Questionamos então sobre a planta automatizada e logo de início foi abordado que mesmo com muita automação, ainda exige muito o uso da mão de obra em conjunto com as tecnologias, e que seria engano pensar que as máquinas fizessem tudo sozinhas, além disso, também foi confirmado, que mesmo com um tempo razoável entre 2019 e

atualmente 2023, não foi possível ainda copiar o exemplo dessa planta de fábrica automatizada e replicar à outras como um todo.

Em seguida, concluímos a entrevista com o questionamento em relação a visão da relação do Lean com a I4.0 e a quão clara essa percepção era e a quanto tempo, ouvindo que, atualmente em 2023, está começando a ser mais visível a necessidade do Lean para a automação, e como dito anteriormente, qual a real necessidade da automação e o quanto compensa, pois o Lean faz o serviço sem a automação, o que automação permite são dados mais confiáveis.

3.1.2.4 Análise dos casos cruzados

Sobre a implementação das tecnologias, destaca-se que apenas as tecnologias de robótica e sensores foram implementadas em todas as empresas estudadas. Outras tecnologias, como big data, simulação, radiofrequência, sistema de rastreamento e fabricação inteligente, foram implementadas em algumas empresas ou estão em fase de planejamento. A comparação com estudos literários anteriores revela que algumas tecnologias amplamente discutidas na literatura, como Internet das Coisas e big data, têm uma implementação menor do que o esperado nas empresas estudadas, como visto no Quadro 6 a seguir:

Quadro 6-Tecnologias implementadas e em planejamento nas empresas estudadas

Tecnologia	Implementada (Empresas)	Em Planejamento (Empresas)	Presença na Literatura (%)
Robótica	Sim (3)	Não	Alta (56%)
Sensores	Sim (3)	Não	Moderada (35%)
Big Data	Sim (2)	Não (1)	Alta (61%)
Simulação	Sim (2)	Planejamento (1)	Moderada
Radiofrequência	Sim (2)	Planejamento (1)	Moderada (48%)
Sistema de Rastreamento	Sim (2)	Planejamento (1)	Baixa (9%)
Fabricação Inteligente	Sim (2)	Não (1)	Moderada (20%)
Internet das Coisas	Sim (1)	Planejamento (2)	Alta
Integração Vertical/Horizontal	Planejamento (2)	Sim (1)	Moderada (22%)
Comunicação Máquina a Máquina	Planejamento (2)	Não (1)	Moderada (30%)
Segurança Cibernética	Planejamento (2)	Sim (1)	Baixa (11%)

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Revisão Sistemática da Literatura (RSL), algumas tecnologias são frequentemente mencionadas em artigos, ultrapassando a marca de 50%. Por exemplo, a Internet das Coisas está implementada em apenas uma empresa e em fase de implementação em outra. Outra tecnologia notável é o Big Data, utilizado em duas empresas de maior porte e presente em 61% dos artigos. Além disso, a tecnologia de robôs, além de ter uma grande representatividade nos artigos, é bem-vista pelas empresas entrevistadas, estando implementada nas três.

A simulação também é amplamente discutida e está implementada em duas empresas, com planos para implementação na terceira. Ao observar a Figura 15, percebe-se que cada tecnologia mencionada anteriormente está associada a um nível de maturidade da Indústria 4.0. Por exemplo, os robôs integram o nível 1 de automatização e estão presentes nas três empresas. Já o Big Data e a simulação estão no nível 3 de visibilidade, implementados em apenas duas empresas entrevistadas e a simulação em fase de implementação na terceira empresa apenas

A Internet das Coisas faz parte do nível 5 de previsibilidade. E como relatado anteriormente, apesar de ter uma das maiores porcentagens na RSL, está presente em apenas uma das empresas entrevistadas e em fase de implementação em outra. Isso sugere que os artigos estudados na RSL possam ter focado em tecnologias que levam ao máximo nível de maturidade da Indústria 4.0. Portanto, tais tecnologias exigem um tempo para que as empresas as incorporem e realizem suas implementações de acordo com as demandas específicas de cada organização.

Ótimos exemplos em relação ao uso das tecnologias da I4.0 nas empresas foram citados no questionário, sendo um desses, o da empresa de Eletrodomésticos relatando que: - *“A robótica foi extremamente relevante nos casos de problemas de produtividade e ergonomia. A simulação foi extremamente importante para aumentar a confiabilidade dos processos e aumento da produtividade do setor de engenharia. Os sensores e sistemas de radiofrequência auxiliaram nos processos de rastreabilidade e acompanhamento da produção em processos, e acompanhamento da manutenção, reduzindo tempos e possibilitando a manutenção preditiva. A comunicação máquina permitiu o acompanhamento em tempo real da produção aumentando o tempo de resposta do planejamento X vendas, melhorando a resposta ao mercado e reduzindo os atrasos nas entregas.”*

Em relação as barreiras de implementação da I4.0, é importante citar que ambos os respondentes apontaram resistência cultural das empresas, além da questão financeira devido ao alto custo de determinadas tecnologias e a falta de conhecimento inicial sobre o assunto, um dos respondentes apontou a questão de coleta de dados como uma barreira, por inicialmente ser algo “irrelevante” para a empresa, ou seja, isso pode representar que o Lean nessa empresa não estivesse tão avançado quanto nas outras, e fica claro na questão a seguir em que a mesma empresa responde que o Lean ainda estava começando a ser implementado e conhecendo as ferramentas. Já as outras duas empresas tinham o Lean bem consolidado.

Em relação a implementação das ferramentas Lean nas empresas estudadas em conjunto com a adoção de tecnologias da Indústria 4.0. As ferramentas mais consolidadas nas empresas foram, 5S, Andon, Kaizen, Poka Yoke e OEE, já implementadas em todas as empresas. Outras ferramentas como Fluxo de Valor, Fabricação Celular, TPM e Jidoka foram implementadas em pelo menos duas das três empresas. Por outro lado, ferramentas

como Just in Time, VSM e Trabalho Padronizado foram implementadas apenas em uma das empresas.

Tabela 3 -Ferramentas Lean implementadas nas empresas estudadas

Ferramenta Lean	Número de empresas
5S	3
Andon	3
Kaizen	3
Poka Yoke	3
OEE	3
Fluxo de valor	2
Fabricação celular	2
TPM	2
Jidoka	2
Just in Time	1
VSM	1
Trabalho padronizado	1

Fonte: Elaborado pela autora

Após compilar informações sobre as tecnologias da Indústria 4.0 e as ferramentas Lean já implementadas nas empresas objeto de estudo, procedemos à investigação das percepções dos entrevistados quanto ao impacto das ferramentas Lean na efetiva implementação das tecnologias da Indústria 4.0. Todos os participantes afirmaram que essas ferramentas desempenharam um papel significativo, sendo que dois entrevistados destacaram que as ferramentas Lean, quando previamente consolidadas na estrutura organizacional, têm a capacidade de facilitar a incorporação das tecnologias da Indústria 4.0.

Este resultado evidencia a relevância das ferramentas Lean como alicerces sólidos para a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0, sublinhando a importância de estabelecer tais práticas Lean antes do início do processo de automação e da busca pela maturidade na adoção da Indústria 4.0 nas organizações estudadas.

Além disso, os entrevistados também responderam sobre as possibilidades de interações das tecnologias da I4.0 com as ferramentas do Lean conforme conhecimento e opinião deles, assim, apresentamos na Tabela 4, a frequência com que cada ferramenta Lean interagiu com uma das 18 tecnologias da I4.0 citadas na Tabela 2 do Capítulo 3.1.2.1.

Tabela 4 -Frequência das ferramentas Lean interagindo com as tecnologias da I4.0 conforme opinião dos entrevistadores

Ferramenta Lean	Frequência
TPM	14
5S	14
Fluxo de Valor	12
TQM	5
OEE	11
Kaizen	10
Fabricação celular	10
Just in Time	8
Heijunka	6
Andon	8
Poka Yoke	9
Jidoka	8
PDCA	6

Fonte: Elaborado pela autora

As ferramentas Lean com maior frequência de possibilidades de interações com as tecnologias da I4.0 conforme as respostas das três empresas entrevistadas são: TPM, 5S, Fluxo de Valor, OEE, Kaizen e Fabricação Celular. Sendo 5S, Kaizen e OEE, as ferramentas mais consolidadas nas empresas entrevistadas e Fluxo de Valor e Poka Yoke, apareceram em grandes números na RSL.

O estudo realizado nas três empresas também ofereceu uma visão interessante sobre os benefícios da interação da implementação das tecnologias da Indústria 4.0 com as ferramentas do Lean e assim, a percepção das empresas sobre a influência dessas tecnologias em diferentes aspectos de seus processos e operações revelou insights valiosos.

A percepção sobre a qualidade não foi uniforme, com votos variando entre quase nenhuma benfeitoria, pouca benfeitoria e bons benefícios. Isso sugere que, pelo menos a curto prazo, a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 não teve um impacto significativo na qualidade percebida pelos entrevistados. O mesmo padrão foi observado para a otimização contínua.

A flexibilidade foi vista de forma mista, com algumas empresas percebendo poucos benefícios e outras vendo bons benefícios. Este resultado é consistente com a

literatura, onde a gestão visual dinâmica foi mencionada em 17% dos casos, indicando uma percepção semelhante sobre sua eficácia.

Opiniões divergentes também foram observadas para a eficiência, com votos variando de poucas a muitas benfeitorias. A literatura sugere que o suporte à tomada de decisões em tempo real é altamente benéfico (39%), mas a percepção das empresas foi dividida sobre esse aspecto.

A confiabilidade e a diminuição do maquinário usado foram percebidas como benéficas por algumas empresas, refletindo os dados da literatura (19%). No entanto, a percepção das empresas sobre a redução de defeitos, estoque e tempo foi positiva, sugerindo que o acesso fácil aos dados pode levar a melhorias significativas nessas áreas.

O custo também foi percebido de forma mista, com algumas empresas vendo muitos benefícios e outras apenas bons benefícios. Isso contrasta com a literatura, onde o custo foi altamente considerado (44%). É possível que as empresas ainda não tenham otimizado totalmente os custos por meio das tecnologias da Indústria 4.0.

O desempenho operacional foi amplamente considerado benéfico (37%) na literatura, uma percepção corroborada pelas três empresas, que votaram unanimemente nesse aspecto.

Em resumo, enquanto algumas áreas como redução de defeitos e tempo estão mostrando melhorias significativas devido à implementação das tecnologias da Indústria 4.0 juntamente com o uso das ferramentas Lean, outras áreas como qualidade e otimização contínua podem precisar de uma análise mais aprofundada para entender por que os benefícios esperados ainda não foram totalmente realizados. A percepção divergente entre as empresas destaca a necessidade de personalização e adaptação das tecnologias da Indústria 4.0 para atender às necessidades específicas de cada organização.

Após apresentarmos os cruzamentos dos dados do questionário, temos um compilado dos dados dos sites que trouxeram os seguintes insights, contidos no Quadro 7.

Quadro 7-Dados encontrados no site das empresas estudadas

Empresa	Tecnologia	Abordagem de Indústria 4.0
Empresa de Alimentos	Utiliza QRCode e Braile nas embalagens para rastreabilidade e acessibilidade.	Investimento em tecnologia, garantia de qualidade, aplicação de conceitos modernos de nutrição.
Empresa Metalúrgica (Brasil)	Oferece serviço de Support Online para clientes com acesso online a Engenharia, Seleção, entrega e mais.	Pioneira em Indústria 4.0 na Europa com muita informação disponível sobre o tema em seu site Europeu.
Empresa de Eletrodomésticos	Já possui uma planta no Brasil com todas as linhas de produção conectadas e acesso aos dados em tempo real, e busca copiar para outras plantas, além de possuir foco na Gestão Lean.	Aumento da velocidade de resposta ao mercado, mensuração de demanda online, redução de custos de produção e maior produtividade.

Fonte: Elaborado pela autora

A empresa de eletrodomésticos foi a que forneceu mais informações em seu site, destacando-se uma entrevista sobre a implementação da automação da Indústria 4.0 em uma de suas plantas. Essa entrevista continha diversas informações relevantes sobre o tema. No entanto, em relação à empresa de manufatura, encontrou-se poucos dados no site brasileiro, sendo a maioria das informações redirecionada diretamente para a página europeia.

Quanto à empresa do ramo alimentício, apesar de possuir um site com muitas notícias e informações atualizadas, não apresentava muitos dados relacionados à automação ou à metodologia Lean. Assim, as informações disponíveis no quadro acima representam o que foi possível coletar e comparar entre as três empresas estudadas, evidenciando o uso diferenciado das tecnologias em cada setor.

Por meio das entrevistas, foi possível perceber que a Empresa 1 faz amplo uso das tecnologias na área de logística e utiliza extensivamente sensores. A Empresa 2 destacou-se pelo uso significativo de RFID para gerenciar a entrada e saída de um galpão, além de

aplicar essa tecnologia nos processos de produção. Já a Empresa 3 apresentou um grande emprego de robótica em todo o processo de produção, com uma análise adicional sobre a verdadeira utilidade dos robôs, que será abordada posteriormente.

Já por meio da entrevista foi possível ter um compilado de dados similares vistos no Quadro 8, mesmo tendo sido uma entrevista mais específica a cada empresa, já que o script usado como base foi o mesmo e voltado a coletar os mesmos dados.

Quadro 8-Dados compilado da entrevista com as empresas

Entrevistado	Pontos para facilitar a Implementação da I4.0	Relação com o Lean	Desafios e Experiências
Entrevistado 1 (Alimentícia)	Ênfase na necessidade de processos bem estabelecidos antes da automatização. Importância da cultura de inovação.	Reconhece o Lean como base essencial para a I4.0.	Uso de sensores para identificar gargalos e melhorias. Utilização do índice de OEE para avaliar melhorias. Dificuldades culturais na implementação da I4.0.
Entrevistado 2 (Metalmeccânica)	Ênfase na importância do Lean como base para a I4.0. Avaliação cuidadosa dos processos que podem ser melhorados com automatização.	Destaca que o Lean é um pilar fundamental para a I4.0 na empresa.	Dificuldades na implementação de tecnologias devido ao alto custo e à falta de justificativa de retorno. Diferenças entre as plantas do Brasil e Europa em termos de padronização e flexibilidade. Uso de RFID para controle de entrada e saída em galpão da empresa.
Entrevistado 3 (Eletrodomésticos)	Ênfase na necessidade de avaliação cuidadosa dos custos e benefícios da I4.0. Reconhecimento da importância do Lean para a I4.0.	Percepção da necessidade do Lean para a automação. Uso de tecnologias como AGVs com foco no Lean.	Dificuldades em replicar um modelo de fábrica automatizada para outras plantas. Reconhecimento da importância do Lean para dados confiáveis na automação. Necessidade do Lean para organizar linhas já automatizadas que se tornaram gargalos.

Fonte: Elaborado pela autora

Por meio dos dados da entrevista é possível perceber a importância da cultura Lean na empresa e criar uma cultura para a implementação da I4.0, como a empresa 1 cita, uma das barreiras para implementação da I4.0 foram as dificuldades culturais dentro da empresa, sendo assim, a importância cultural da empresa vinda da parte de gestão é muito importante.

Além disso, fica claro a importância das ferramentas do Lean como base para se obter o maior sucesso da implementação da automação da I4.0, que fica bem claro ao se comparar os dados das três empresas, que citam essa necessidade várias vezes.

E por fim, o cuidado em avaliar os processos que podem ser melhorados por meio da automatização da I4.0, uma vez que se tem um alto custo na implementação das tecnologias da I4.0 e também um alto movimento e esforço para que ocorra tudo certo com essa implementação, então a importância em se avaliar com cuidado a razão de se implantar a tecnologia em um determinado processo, buscando visualizar sempre os benefícios que serão obtidos por meio desse movimento e se não está automatizando um desperdício.

Como visto nas considerações finais da RSL realizada anteriormente, um dos resultados da relação das tecnologias da I4.0 com as ferramentas do Lean, é o aumento da competitividade e melhorias na linha de produção, contribuindo com o aumento da produtividade, ao questionarmos os entrevistados a motivação em implementar as tecnologias da Indústria 4.0 obtivemos exatamente essas mesmas palavras como respostas dos três respondentes.

Após todas as análises vistas, fica claro que, como a entrevista foi feita com empresas de áreas totalmente distintas, foi visível que cada área e que cada empresa tem a sua necessidade específica e assim deve introduzir as tecnologias que fazem mais sentido e terão mais utilidade para si, não é porque um robô está em alta que se deve colocar um robô na linha de produção, até mesmo porque a introdução das tecnologias é sempre muito cara e precisam ser muito bem justificadas.

Ficou evidente a necessidade de abordar questões específicas em cada fábrica para alcançar a excelência na digitalização. Mesmo uma única empresa enfrenta desafios ao tentar implementar as mesmas tecnologias em diferentes unidades fabris. Um exemplo ilustrativo é a dificuldade de replicar casos de sucesso em fábricas europeias para contextos brasileiros, e até mesmo dentro do próprio país, considerando diferentes regiões

e estados. Essa complexidade é agravada pelas peculiaridades das atividades de manufatura, que incluem a produção de produtos distintos, cada um com suas próprias necessidades e viabilidade econômica específica.

Além disso, é importante considerar as diferenças nas condições de mercado e nas estratégias adotadas em regiões globais distintas. Por exemplo, durante as entrevistas, a Empresa 2 destacou um caso em que uma máquina amplamente utilizada na Alemanha foi proposta para implementação no Brasil, mas não foi aceita devido aos elevados custos de investimento locais. Outro exemplo mencionado pela mesma empresa refere-se à utilização de óculos 3D, que, apesar de disponíveis, não foram considerados viáveis. Isso se deve ao fato de que, por meio de software, já é possível visualizar as peças para avaliação da qualidade, tornando dispensável o uso do dispositivo, especialmente quando a única finalidade seria a exposição para clientes.

Os gráficos 1 e 4 vistos no estudo durante a coleta e análise de dados do questionário, demonstra que tanto as ferramentas do Lean, quanto as tecnologias da Indústria 4.0 devem ser analisadas ao serem implementadas para que possam cumprir de maneira eficiente o objetivo pelo qual foi utilizada e para resolução da questão que criou sua necessidade, de forma efetiva.

Isto torna ainda relevante e passível de pensamento e futuros estudos, uma opinião de um dos entrevistados sobre a consideração na obrigatoriedade dos nove pilares da Indústria 4.0 para se alcançar uma maior maturidade de automação, uma vez que, algumas tecnologias não conseguem serem justificadas dentro da linha de produção, ou processo ou célula que está sendo implementada, devido ao alto custo, ao longo *Payback*, por vezes acaba sendo possível realizar o processo tão bem quanto mesmo sem a tecnologia

Além disso, vale ressaltar também sobre as diferentes projeções visualizadas pelos entrevistados referentes as interações das ferramentas do Lean com as tecnologias da I4.0 visualizadas na Tabela 2, uma vez que, cada um responde conforme sua vivência na indústria, sua opinião e conhecimento prático, o que demonstra então que, o uso que ocorre dessas interações na manufatura, comprovando também que até mesmo as ligações são distintas e utilizadas da maneira que cada indústria julga ser mais viável a eles.

Já em relação a flexibilidade, os dados visíveis no site demonstram uma visão de aumento de flexibilidade na demanda da produção. E em entrevista a empresa 2 relatou que acredita que por conta da grande usabilidade e exigência das ferramentas do Lean para a automatização, as fábricas da Europa que possui menor flexibilidade na linha de

produção, com apenas 3 tipos de produtos, possuem maior êxito em sua maturidade da I4.0, já com o aumento da flexibilidade de tipos de produtos, diminui a capacidade de automatizar o processo, uma vez que, para que ocorra qualquer mudança de diâmetro por exemplo, exige a parada para alteração de setup e ensinamento do robô para fabricar aquele novo modelo de produto. Ou seja, a empresa 2 citou que isso pode ser um ponto positivo por ter maior flexibilidade em sua produção comparada a planta da Alemanha por exemplo, porém, faz com que, estes tenham apenas uma linha de produção totalmente automatizada, que é a que tem um índice de produção maior de um único produto.

E após estudar todo o conteúdo e analisar todos os dados foi constatado realmente um impacto positivo da integração da I4.0 com o LM na fábrica e na produção de modo geral, por meio do maior controle de todos os processos, desde entrada e saída de matérias primas até produtos acabados, ou nível de qualidade de produção por meio de sensores, robotização para melhorias ergonômicas, aumento da confiabilidade por meio da simulação, redução de paradas por meio de sensores e radiofrequência aumentando a capacidade da manutenção preventiva, diminuindo também custos, acompanhamento da produção em tempo real por meio da comunicação máquina a máquina, o que também melhora o tempo de resposta ao mercado e diminui o atraso na entrega, outros exemplos também podem ser citados, estes são os vistos durante a análise dos dados do estudo de caso.

3.1.2.5 Considerações Finais

Ao longo deste estudo, buscou-se aprofundar a compreensão sobre a interação e a coexistência das tecnologias da Indústria 4.0 com os princípios do Lean Manufacturing. Os dados coletados através de pesquisas, questionários e entrevistas proporcionaram um panorama sobre o estado atual da implementação dessas tecnologias no ambiente industrial. Constatou-se que, embora exista um movimento claro em direção à adoção da Indústria 4.0, a sua integração com o Lean Manufacturing não é apenas desejável, mas também fundamental para o aproveitamento otimizado dos recursos e a maximização dos benefícios.

Os resultados deste estudo evidenciaram que as empresas que adotam as ferramentas do Lean antes de introduzirem inovações tecnológicas conseguem um maior alinhamento com os princípios da eficiência e da eliminação de desperdícios. A

implementação da robótica e de sensores, embora universal nas empresas estudadas, revelou diferentes estágios de adoção e planos de implementação, refletindo a variabilidade no entendimento e aplicação dessas tecnologias.

Um dos aspectos mais desafiadores identificados foi a necessidade de superar barreiras culturais e financeiras. A cultura organizacional surge como um dos maiores obstáculos, uma vez que a inovação tecnológica exige não apenas investimentos financeiros, mas também uma mudança de mentalidade. Este estudo sublinha a importância de uma avaliação criteriosa prévia à automatização, alinhando expectativas e realidades e evitando o investimento em tecnologias que não se adaptam às necessidades específicas da empresa.

Além disso, as divergências percebidas quanto aos benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 ressaltam a necessidade de uma abordagem mais personalizada. A estratégia de “uma solução serve para todos” é claramente insuficiente para atender às particularidades de cada empresa. Neste contexto, as informações obtidas dos sites das empresas são reveladoras, pois demonstram que, apesar da existência de barreiras na replicação de práticas bem-sucedidas, há também um terreno fértil para a manufatura flexível e a aplicação do Lean de forma adaptativa e inteligente.

A interação entre as tecnologias do Lean e da Indústria 4.0 foi um tema recorrente e sua importância não pode ser subestimada. O estudo mostrou que, quando bem alinhadas, essas tecnologias podem levar a melhorias significativas nos processos de produção. Portanto, o impacto positivo da integração entre a Indústria 4.0 e o Lean Manufacturing pode ser amplamente observado na melhoria contínua e na sustentabilidade das operações industriais.

Conclui-se, portanto, que a integração das tecnologias da Indústria 4.0 com o Lean Manufacturing é um campo rico em potencial e que promete remodelar o panorama produtivo. O caminho a seguir exige uma investigação contínua, uma vez que as dinâmicas industriais são influenciadas tanto por avanços tecnológicos quanto por evoluções na filosofia de gestão. A presente dissertação espera ter contribuído para este campo de estudo, abrindo caminho para futuras pesquisas e para a evolução prática nas indústrias que buscam essa sinergia transformadora.

4. CONCLUSÃO

Segundo as referências consultadas durante esta pesquisa, é possível afirmar que o Lean Manufacturing e a Indústria 4.0 não são técnicas semelhantes de gestão da produção, tampouco competem entre si. Pelo contrário, são modelos que se complementam, como evidenciado ao longo de todo o estudo. Empresas que incorporam o Lean Manufacturing em sua cultura organizacional estão mais preparadas para explorar os benefícios das tecnologias da Indústria 4.0, aumentando suas chances de sucesso na implementação da I4.0.

Ao responder às questões Q1 e Q2, obtivemos inicialmente classificações e resultados para o Q1, que incluem 15 ferramentas de Lean Manufacturing, derivadas da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) de 54 artigos; 18 tecnologias da Indústria 4.0; e 12 melhorias/benefícios. Dentre as 15 ferramentas destacam-se Fluxo de Valor (VSM), 5S, Kanbans, Exibição de Status (Andon), Melhoria Contínua (Kaizen), Poka Yoke, Fabricação Celular, Manutenção Produtiva Total (TPM), Jidoka, PDCA, TQM, Heijunka, Just in time, SMED, OEE. As 18 tecnologias englobam Sistema Ciberfísico, Internet das Coisas, Big Data, Nuvem, Realidade Virtual, Robótica, Impressão 3D, Integração Vertical/Horizontal, Simulação, Comunicação Máquina a Máquina, Radiofrequência, Sensores, Sistema de Rastreamento, Fábrica Inteligente, Segurança Cibernética, Inteligência Artificial, Gêmeos Digitais e Manufatura Aditiva. Já as 12 melhorias abrangem gestão visual dinâmica, redução de tempo, custo, eficiência, defeitos, utilização de maquinários, desempenho operacional, flexibilidade, otimização contínua, qualidade, redução de estoque e confiabilidade.

Na RSL, Franco-Santos et al. (2007) enfatizam que a integração desses conceitos proporciona flexibilidade por meio das tecnologias da Indústria 4.0. Por exemplo, a manufatura aditiva e a realidade aumentada podem ser adotadas para aumentar a flexibilidade do processo. Contudo, em um estudo de caso específico, um dos entrevistados expressou a impressão de que a Indústria 4.0 não permite total flexibilidade. Ele argumentou que, por exemplo, o uso de robôs sempre requer um setup para a produção de um novo produto, o que impossibilita uma produção contínua e totalmente automatizada. Em sua visão, quanto mais produtos a fábrica produz, mais difícil se torna automatizar completamente toda a produção, a menos que haja várias células e linhas diferentes de produção, cada uma dedicada a um único produto.

O estudo de caso múltiplo confirmou o relato da revisão sistemática da literatura, indicando que o Lean Manufacturing serve como base para a Indústria 4.0. Além disso, reforçou as afirmações de Kolberg et al. (2015) e Anosike et al. (2021), os quais argumentam que as tecnologias da Indústria 4.0 são mais facilmente implementadas em organizações de manufatura repetitiva, onde os métodos Lean Manufacturing são altamente aplicáveis. Este entendimento sustenta a compatibilidade entre as tecnologias da Indústria 4.0 e as ferramentas do Lean Manufacturing.

Na resposta à Q2, tornou-se evidente um impacto positivo e a necessidade de integração entre as ferramentas do Lean e as tecnologias da Indústria 4.0. As tecnologias emergiram como auxiliares nos processos, proporcionando melhorias, aumentando a confiança nos dados, impulsionando a produtividade e promovendo a padronização. No entanto, é crucial destacar que essa integração deve ser cuidadosamente planejada e implementada na linha de produção. Caso contrário, como observado em uma das empresas entrevistadas, pode se tornar um gargalo. Em geral, as tecnologias são bem-vistas, e as ferramentas do Lean são consideradas prioritárias para garantir uma automação efetiva.

Portanto, para atingir o nível máximo de maturidade da Indústria 4.0, é necessário tempo e compreensão das demandas da empresa. Isso permitirá a automação efetiva de toda a produção e processos, evitando a criação de gargalos ou a implementação de tecnologias caras sem uso real. Os processos para cada nível de maturidade devem ser observados, e cada projeto tecnológico deve ser analisado em conjunto, levando em consideração cálculos de *Payback*, análise do uso real e da demanda.

É fundamental pensar nos objetivos da empresa, como criar uma planta automatizada, reduzir custos, aumentar a efetividade na produção, diminuir erros, coletar dados, melhorar a produtividade, entre outros.

Acredita-se que é de suma importância que as empresas possuam o Lean Manufacturing já bem estruturado em todas as linhas de produção antes de implementar as tecnologias da Indústria 4.0 para que se alcancem uma melhor excelência, uma vez que durante de todo processo da implementação das tecnologias as ferramentas do Lean podem auxiliar e melhorar a eficiência como um todo na produção da fábrica. Sendo assim, aconselha-se estudar sobre o uso das ferramentas do Lean e como estas podem auxiliar e melhorar a eficiência da I4.0.

4.1. Limitações e Considerações Futuras

Algumas das limitações do estudo foram a quantidade de empresas entrevistadas e as áreas específicas da manufatura. Sendo assim, como considerações futuras, é recomendado replicar a pesquisa para um número maior de empresas e ampliar também a área das empresas pesquisadas, buscando compreender os desafios e benefícios intrínsecos a cada um desses setores. Além disso, a limitação de entrevistar apenas um colaborador por empresa também foi identificada como uma restrição ao estudo, pois proporcionou apenas um ponto de vista sobre cada empresa. Para futuras pesquisas, sugere-se entrevistar mais colaboradores ou realizar visitas técnicas a cada empresa, o que pode oferecer uma perspectiva mais abrangente e confiável.

Conforme avançávamos na pesquisa, identificamos a possibilidade de avaliar a maturidade do Lean por meio dos horizontes de desenvolvimento do Lean Manufacturing, conforme descrito pelo VDMA-Forum Industrie 4.0 (2018). Esse modelo descreve a integração do Lean Manufacturing com a Indústria 4.0 em cinco horizontes de desenvolvimento, o que pode ser considerado para estudos futuros e analisado juntamente com a maturidade da Indústria 4.0.

Dado que o estudo revelou que as percepções podem variar conforme a amostra ou contexto, e considerando que o cenário atual da indústria demanda constante adaptação às nuances da digitalização e automação, torna-se imperativo manter o estudo sempre atualizado e enriquecido com novas informações. Replicar este estudo daqui alguns anos e compará-lo com o presente pode ser uma abordagem valiosa para observar as mudanças na interação entre as ferramentas do Lean e as tecnologias da Indústria 4.0 na manufatura ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- Anosike, A., Alafropatis, K., Garza-Reyes, J. A., Kumar, A., Luthra, S., e Rocha-Lona, L. (2021). Lean manufacturing and internet of things – A synergetic or antagonist relationship? *Computers in Industry*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103464>
- Bittencourt, V. L., Alves, A. C., e Leão, C. P. (2021). Industry 4.0 triggered by Lean Thinking: insights from a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(5), 1496–1510. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1832274>
- Ciano, M. P., Dallasega, P., Orzes, G., e Rossi, T. (2021). One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. *International*

Journal of Production Research, 59(5), 1386–1410.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1821119>

Ding, B., Ferràs Hernández, X., e Agell Jané, N. (2021). Combining lean and agile manufacturing competitive advantages through Industry 4.0 technologies: an integrative approach. *Production Planning and Control*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1934587>

Dombrowski, U.; Richter, T.; Krenkel, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A use case analysis. *Procedia Manufacturing*, 11, 288–1295.

Eisenhardt, K. M. (1989). “Building Theories from Case Study Research.” *Academy of Management Review*, 14(4), 532–550.

Florescu, A., e Barabas, S. (2022). Development Trends of Production Systems through the Integration of Lean Management and Industry 4.0. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(10).
<https://doi.org/10.3390/app12104885>

Fortuny-Santos, J., López, P. R. de A., Luján-Blanco, I., e Chen, P. K. (2020). Assessing the synergies between lean manufacturing and Industry 4.0. *Direccion y Organizacion*, 71, 71–86.
<https://doi.org/10.37610/dyo.v0i71.579>

Franco-Santos, M., Kennerley, M., Micheli, P., Martizez, V., Mason, S., Marr, B., Gray, D., Mike, M. F., Pietro, K., Veronica, M., Steve, M., Bernard, M., Dina, M., e Neely, A. (2007). Towards a definition of a business performance measurement system. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(8), 784–801.
<https://doi.org/10.1108/01443570710763778>

Gable, G. G. (1994). Integrating case study and survey research methods: an example in information systems. *European Journal of Information Systems*, 112–126.

Haddud, A., e Khare, A. (2020). Digitalizing supply chains potential benefits and impact on lean operations. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(4), 731–765.
<https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2019-0026>

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Rab, S., Suman, R., e Khan, S. (2022). Exploring relationships between Lean 4.0 and manufacturing industry. *Industrial Robot*, 49(3), 402–414.
<https://doi.org/10.1108/IR-08-2021-0184>

Johannes Klingberg. (2020, September 16). Área estrutural de sistemas de informação é o tema do 2o webinar da série “Passo a passo: a maturidade da Indústria 4.0 na prática.”
<https://www.vdibrasil.com/area-estrutural-de-sistemas-de-informacao-e-o-tema-do-2o-webinar-da-serie-passo-a-passo-a-maturidade-da-industria-4-0-na-pratica/>.

Kolberg, D., Zühlke, D., Kolberg, D., e Kolberg, D. (2015). ScienceDirect Lean Automation enabled by Industry Lean Automation Automation enabled enabled by by Industry.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>

Mayr, A.; Weigelt, M.; Kühl, A.; Grimm, S.; Ertl, A.; Potzel, M.; Franke, J. (2018). Lean 4.0 – a conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 72, 622–628.

Mueller, J. M., e Birkel, H. S. (2020). Contributions of Industry 4.0 to lean management within the supply chain operations reference model. *International Journal of Integrated Supply Management* 13(1):74. <https://doi.org/10.1504/IJISM.2020.107781>

Omoush, M. M. (2020). *Management Science Letters*. 10, 3107–3118.
<https://doi.org/10.5267/j.msl.2020.5.012>

- Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z., e Elmagarmid, A. (2016). Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- Pagliosa, M., e Tortorella, Guilherme, Ferreira, J. F. (2019). Industry 4.0 and Lean Manufacturing A systematic literature review and future research directions. *Industry 4.0 and Lean Manufacturing*, 32(3), 543–569. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2018-0446>
- Pahlevan-Sharif, S., Mura, P., e Wijesinghe, S. N. R. (2019). A systematic review of systematic reviews in tourism. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 39, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2019.04.001>
- Peças, P., Encarnação, J., Gambôa, M., Sampayo, M., e Jorge, D. (2021). PDCA 4.0: A new conceptual approach for continuous improvement in the industry 4.0 paradigm. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/app11167671>
- Pereira, A. C., Dinis-Carvalho, J., Alves, A. C., e Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 can enhance lean practices. *FME Transactions*, 47(4), 810–822. <https://doi.org/10.5937/fmet1904810P>
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., e Pellerin, R. (2019). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 0(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1672902>
- Salvadorinho, J., e Teixeira, L. (2021). Stories told by publications about the relationship between industry 4.0 and lean: Systematic literature review and future research agenda. In *Publications (Vol. 9, Issue 3)*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/publications9030029>
- Saxby, R., Cano-Kourouklis, M., e Viza, E. (2020). An initial assessment of Lean Management methods for Industry 4.0. *TQM Journal*, 32(4), 587–601. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2019-0298>
- Sony, M. (2018). Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. *Production & Manufacturing Research*, 6(1), 416–432. <https://doi.org/10.1080/21693277.2018.1540949>
- Stadnicka, D., e Antonelli, D. (2019). Human-robot collaborative work cell implementation through lean thinking. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(6), 580–595. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1599437>
- Tortorella, G. L., Giglio, R., e van Dun, D. H. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International Journal of Operations and Production Management*, 39, 860–886. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2019-0005>
- Tortorella, G. L., Pradhan, N., Macias de Anda, E., Trevino Martinez, S., Sawhney, R., e Kumar, M. (2020). Designing lean value streams in the fourth industrial revolution era: proposition of technology-integrated guidelines. *International Journal of Production Research*, 58(16), 5020–5033. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1743893>
- Tortorella, G. L., Saurin, T. A., Filho, M. G., Samson, D., e Kumar, M. (2021). Bundles of Lean Automation practices and principles and their impact on operational performance. *International Journal of Production Economics*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108106>
- Tranfield, D., Denyer, D., e Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. 14, 207–222.

Tripathi, V., Chattopadhyaya, S., Mukhopadhyay, A. K., Sharma, S., Li, C., Singh, S., Ul Hussan, W., Salah, B., Saleem, W., e Mohamed, A. (2022). A Sustainable Productive Method for Enhancing Operational Excellence in Shop Floor Management for Industry 4.0 Using Hybrid Integration of Lean and Smart Manufacturing: An Ingenious Case Study. *Sustainability* (Switzerland), 14(12). <https://doi.org/10.3390/su14127452>

Voss, C. N. T., and M. Frohlich. (2002). Case Research in Operations Management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 195–219.

Yilmaz, A., Dora, M., Hezarkhani, B., e Kumar, M. (2022). Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121320>

Yin, R. K. (2015). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. (5th ed.). Bookman.

APÊNDICE 1: Questionário de pesquisa sobre ferramentas do Lean Manufacturing em associação a tecnologias da Indústria 4.0

Link de acesso do questionário: <
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSecB-_xjF2_qKCOzBKM56avNrKU0dVPCijfs65eL-qD7eprKw/viewform?usp=sf_link>

A proposta deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) é explicar tudo sobre o relato de caso e solicitar a sua permissão para que ele seja publicado em meios científicos como revistas, congressos e/ou reuniões científicas. O objetivo desta pesquisa é relatar um caso e/ou descobrir o impacto da interação das tecnologias da Indústria 4.0 com o conceito Lean Manufacturing na percepção dos gestores de indústrias entrevistados. As questões foram criadas, após uma revisão sistemática, que buscou visualizar como está a literatura que relaciona a Indústria 4.0 com o Lean Manufacturing, apresentado assim, as tecnologias mais citadas nos estudos recentes, as ferramentas que costumam interagir com essas tecnologias e alguns possíveis benefícios que tem sido gerados, por meio desses, então, foi criado o questionário para que se possa confrontar o real com o teórico e assim realizar uma análise e um estudo de como encontra-se a implementação da Indústria 4.0 e como as ferramentas da metodologia do Lean podem auxiliar na implementação das tecnologias da Indústria 4.0 ou até que ponto as tecnologias da I4.0 podem melhorar o uso contínuo das ferramentas Lean nas empresas manufactureiras.

A descrição do relato de caso envolve o risco de quebra de confidencialidade (algum dado que possa identificar o(a) Sr.(a) ser exposto publicamente). Para minimizar esse risco, **NENHUM DADO QUE POSSA IDENTIFICAR O(A) SR(A) COMO NOME, CODINOME, INICIAIS, REGISTROS INDIVIDUAIS, INFORMAÇÕES POSTAIS, NÚMEROS DE TELEFONES, ENDEREÇOS ELETRÔNICOS, FOTOGRAFIAS,**

FIGURAS, CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS (partes do corpo), entre outros serão utilizadas.

Contudo, este relato de caso também pode trazer benefícios. Os possíveis benefícios resultantes da participação na pesquisa são descobertos sobre o assunto de Indústria 4.0, podendo ter acesso ao resultado da pesquisa e mais informações sobre o assunto caso desejado.

Sua participação neste relato de caso é totalmente voluntária, ou seja, não é obrigatória. Não está previsto nenhum tipo de pagamento pela sua participação neste relato de caso e o(a) Sr.(a) não terá nenhum custo com respeito aos procedimentos envolvidos.

Caso ocorra algum problema ou dano com o(a) Sr.(a), resultante deste relato de caso, o(a) Sr.(a) receberá todo o atendimento necessário, sem nenhum custo pessoal e pelo tempo que for necessário. Garantimos indenização diante de eventuais fatos comprovados, com nexo causal com o relato de caso, conforme especifica a Carta Circular no 166/2018 da CONEP.

É garantido ao Sr.(a), o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o relato de caso e suas consequências, enfim, tudo o que o(a) Sr.(a) queira saber antes, durante e depois da sua participação.

Caso o(a) Sr.(a) tenha dúvidas, poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável Tailise Mascarenhas Martins, pelo telefone (15)997978274 ou via e-mail: tailise.mascarenhas@hotmail.com

*

Declaração de Consentimento

Concordo em participar do estudo intitulado: **INTEGRAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 COM O LEAN MANUFACTURING**

Sim

Não

Parte 1 - Indústria 4.0

Descrição (opcional)



Avalie seu conhecimento em relação às tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0), sendo:

- 0 - nenhum
- 1 - pouco (arrisco a conversar sobre o assunto)
- 2 - razoável (entendo um pouco sobre o assunto, pelo o que ouço falar fora da organização)
- 3 - bom (entendo sobre o que existe de I4.0 na organização, mas não atuo na gestão de I4.0)
- 4 - conhecimento profundo do assunto (estou na gestão da I4.0 da minha organização)

Das tecnologias a seguir, quais já foram implementadas em sua organização, em uma escala de 1 a 3, sendo:

1 - Não implementada e **sem** plano de implementação;

2 - Não implementada e **com** plano de implementação;

3- Implementada

	1	2	3
Sistema Cyberfísico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Internet das Coisas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nuvem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Big Data	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realidade Virtual	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impressão 3D	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Robótica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Simulação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integração Vertical/Hori...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comunicação Máquina ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Radiofrequência	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sensores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de Rastreamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fabricação de Segurança	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Segurança Cibernética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inteligência Artificial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gêmeos Digital	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Houve barreiras na implementação? Se sim, quais? (Por ex. financeiras, falta de conhecimento, resistência de funcionários, instabilidade da internet, digitalização de dados, estratégia para implementar, utilização de tecnologias modernas, outras).

Texto de resposta longa

Se possível, cite alguns motivos iniciais que levaram a sua organização a implementar as tecnologias da I4.0.

Texto de resposta longa

Com base em sua opinião, qual a influência das tecnologias da I4.0 no desempenho operacional da sua organização, nos indique em uma escala de 1 a 3, sendo:

1 – Positivo;

2 – Negativo;

3 – Ainda não foi possível perceber.

	1	2	3
Sistema Cyberfísico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Internet das Coisas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nuvem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Big Data	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realidade Virtual	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impressão 3D	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Robótica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Simulação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integração Vertical/Hori...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comunicação Máquina ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Radiofrequência	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sensores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de Rastreamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fabricação de Segurança	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Segurança Cibernética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inteligência Artificial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gêmeos Digital	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Caso tenha algum exemplo da influência positiva ou negativa das tecnologias da Indústria 4.0 sob o desempenho operacional em sua organização que possa citar, discorra sobre neste espaço por favor.

Texto de resposta longa

Parte 2 - Lean Manufacturing

Descrição (opcional)

⋮

Qual o seu conhecimento em relação ao Lean Manufacturing de 0 a 4, sendo 0 nada e 4 muito.

- 0 - nenhum
- 1 - pouco
- 2 - razoável
- 3 - bom
- 4 - conhecimento profundo do assunto



Selecione as ferramentas a seguir, que já estão implementadas em sua organização.

- Mapeamento de Fluxo de Valor
- 5S
- Exibição de Status (Andon)
- Melhoria Contínua/ Kaizen
- Poka Yoke
- Fabricação Celular
- Manutenção Produtiva (TPM)
- Jidoka
- Just in time
- OEE - (Eficácia Geral do Equipamento)
- Outros...

De 0 a 4, quanto você avalia que a implementação das ferramentas do Lean Manufacturing estava bem consolidada antes das tecnologias da I4.0 em sua organização?

- 0 - não estava implementada
- 1 - começando a ser implementada (conhecendo ferramentas)
- 2 - implementada (ferramentas sendo praticadas)
- 3 - totalmente implementadas e bem difundidas e conhecidas entre os funcionários (ferramentas sendo ...
- 4 - muito bem consolidado como dito na opção 3, mas ainda teve operações em que ao se inserir tecnol...

Parte 3 - Indústria 4.0 + Lean Manufacturing

Descrição (opcional)

...

Segundo a sua opinião indique o quanto de 0 a 4, a implementação das tecnologias da I4.0 em sua organização teve o auxílio da implementação prévia das ferramentas do Lean. .

- 0 - As ferramentas do Lean não influenciaram em nada na implementação das tecnologias da Indústria 4...
- 1 - Algumas ferramentas do Lean auxiliaram na implementação de algumas tecnologias da Indústria 4.0
- 2 - Foi possível perceber sim que as ferramentas do Lean já bem consolidadas na organização podem a...
- 4 - Não saberia mensurar a resposta dessa questão

Associe as tecnologias da I4.0 com as ferramentas do Lean na tabela a seguir, selecionando as ferramentas do Lean que são utilizadas juntamente com a tecnologia da Indústria 4.0, a fim de demonstrar as combinações existentes em sua organização.

	Fluxo...	5S	Andon	Kaizen	Poka	Fabri...	TPM	Jidoka	PDCA	TQM	Heiju...	Just
Siste...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Intern...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nuvem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Big D...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Real...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Impre...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Robó...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Simul...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Integr...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Com...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radio...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sens...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Siste...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fabri...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Segur...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inteli...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gêm...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manu...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tendo como base a questão anterior e a sua experiência, quais resultados positivos e/ou negativos foram gerados pelas combinações das tecnologias da I4.0 com as ferramentas Lean. (ex. realidade aumentada, takt time em tempo real, queda de falhas pela análise de dados, outros).

Texto de resposta longa

⋮

Selecione em uma escala de 0 a 4 os benefícios que ocorreram em sua organização após a combinação entre as tecnologias da I4.0 e as ferramentas do Lean. Sendo 0 o benefício que não foi gerado, 1 quase nenhuma benfeitoria, 2 pouca benfeitoria, 3 bons benefícios, 4 muito benéfico.

	0	1	2	3	4
Gestão Visual ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Redução de Te...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Custo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eficiência	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Redução de De...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diminuição em...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Desempenho O...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flexibilidade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otimização Co...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Qualidade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Redução de Es...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Confiabilidade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Parte 4 - Questões mais específicas

Descrição (opcional)

Quanto você acredita que as máquinas e sistemas de sua organização podem ser controladas por TI?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente

Dados da sua organização podem ser visualizados diretamente pelos fornecedores?

	1	2	3	4	5	
Nenhum dado pode ser observado diretamente pelo fornecedor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Dados importantes que são necessários para a produção são compartilhado entre empresa e fornecedor

Os dados podem ser acessados de qualquer lugar do mundo em tempo real pelo usuário dos dados

- Esta afirmação é completamente verdadeira
- Os dados só podem ser acessados, mas não em tempo real
- Os dados podem ser acessados, mas lentamente
- Esta afirmação não é verdadeira

Você armazena dados da máquina, da produção e/ou do processo?

- Sim, todos os dados estão sendo coletados
- Sim, a produção chave e os dados da máquina estão sendo coletados
- Apenas os dados da máquina
- Apenas os dados da produção
- Apenas os dados do processos
- Não, os dados não estão sendo coletados

Você analisa os dados coletados para melhorar processos da empresa?

- Sim, todos os dados são acessados para melhorar a empresa
- Sim, alguns dados são acessados pela empresa
- Não, os dados são apenas armazenados

Você usa Big Data para evitar falhas se surgir?

- Sim, todos os dados são acessados para evitar que ocorra falhas
- Sim, alguns dados são acessados para evitar processos mais críticos
- Não, os dados são apenas armazenados

...

Máquinas comunicam dados entre si, ou seja, nenhum dado precisa ser colocado manualmente?

- | | | | | | | |
|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Nenhuma | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Todas |

Existe algum método de fabricação aditiva em sua empresa? (por exemplo, impressão 3D)

- Métodos convencionais de fabricação são usados na organização
- Usamos métodos de manufatura aditiva na processos de design e engenharia (ou no processo de fabric...
- Usamos métodos de manufatura aditiva tanto no processos de plano e engenharia e a fabricação e proc...

Parte 5 - Maturidade da Indústria 4.0

Descrição (opcional)

Sua organização já possui indicadores para medir a eficiência da implementação da I40? Se sim, cite exemplos.

Texto de resposta longa

Pensando no todo, observe a Figura a seguir de Rentabilidade para a empresa, do site da Associação dos Engenheiros do Brasil - Alemanha (VDI-Brasil) que possui 6 níveis de maturidade de implementação da I4.0. Em seguida responda a questão posterior. (Saiba mais sobre essa ferramenta da figura em: [ACATECH, Industrie 4.0 Maturity Index, 2020](https://www.acatech.com.br/Industria-4-0-Maturity-Index-2020))



Considerando a Fig. anterior do site VDI, em sua opinião qual o nível de implementação das tecnologias da I4.0 na sua organização, de 1 a 6?

- 1 - Informatização
- 2 - Conectividade
- 3 - Visibilidade
- 4 - Transparência
- 5 - Previsibilidade
- 6 - Adaptabilidade

APÊNDICE 2: Entrevista

A conversa da entrevista se baseou nas seguintes questões, porém não necessariamente as questões foram realizadas, uma vez, que conforme a conversa foi fluindo, não se via o propósito de realizá-las.

- 1) A I4.0 apesar de ter sido criada em 2011, ainda é uma abordagem muito recente e de pouco uso, sendo assim, faz muito sentido ter obtido de forma unânime como respostas do questionário, a falta de conhecimento como barreira para implementação das tecnologias da I4.0, como você acredita que essa falta de conhecimento poderia diminuir e assim tentar facilitar a implementação da I4.0 na empresa?
- 2) No questionário você colocou como ponto negativo “partes dos processos não estarem preparados para I4.0”, você acredita que esses processos estão com o Lean consolidado e bem executado? Se não, você acha que se estivessem poderia ser mais tranquilo a preparação para a I4.0?
- 3) Vou dar alguns exemplos para elucidar a associação da I4.0 com o Lean. Por exemplo, se você tiver um processo bagunçado e fora do padrão e colocar nele um robô, você acredita que seja possível trabalhar bem dessa forma? Por quê?
- 4) E o que seria necessário então para tornar isso possível?
- 5) Em um outro caso que você tenha uma linha de processo com sensores e irá implementar melhoria contínua e TPM, você acredita que o processo já ter sensores possa facilitar a implementação de melhoria contínua e TPM? Por quê?
- 6) Sendo assim, é possível notar com as questões 7 e 8 que pode existir uma ligação positiva entre o Lean e a I4.0. Você concorda com essa afirmação?
- 7) Para o Lean qual a importância em possuir dados para análise?
- 8) E como você visualiza a importância de a comunicação dos dados serem automatizada, e qual a ligação destes dados com o Lean você consegue visualizar?
- 9) Sendo assim, você consegue perceber a importância dos indicadores para medir a eficiência da implementação da I4.0?
- 10) Cite alguns exemplos de índices que sua empresa criou ou está criando.
- 11) Para finalizar, você já havia percebido alguma ligação do Lean com a I4.0 antes da pesquisa deste meu trabalho?